

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Problematika trhacích prací při ražbě tramvajového tunelu v Brně
The Issue of Blasting during Excavation of the Tram Tunnel in
Brno

Student:

Bc. Kryštof Kempa

Vedoucí Diplomové práce:

Ing. Martin Stolárik, Ph.D.

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Kryštof Kempa**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T035 Geotechnika

Téma: **Problematika trhacích prací při ražbě tramvajového tunelu v Brně**
The Issue of Blasting during Excavation of the Tram Tunnel in Brno

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Úvod
Rešerše
Návrh technologie trhacích prací
Posouzení vlivu trhacích prací na okolní prostředí
Závěry

Seznam doporučené odborné literatury:

1. KALÁB, Z. *Seismická měření v geotechnice*. Monografie. 2008, Ostrava. ISBN 978-80-2481795-5
2. PANDULA, B. a KONDELA, J. *Metodologia seizmiky trhacích prác*. DEKI Design, 2010, Košice. ISBN 978-80-970265-0-9
3. PRAVDA, V. a BĚTÍK, J. *Trhací práce v hornictví stavebnictví a speleologii*. Montanika o.s., ISBN: 978-80-254-8542-2
4. SARSBY, R. *Environmental Geotechnics*. Thomas Telford Limited, 2000, London. ISBN 978-0727727527
5. TOWHATA, I. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Springer, 2008. Berlin. ISBN 978-3-540-35783-4
6. ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva, Český normalizační institut, 1996, Praha.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Stolárik, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2019
Datum odevzdání: 29.11.2019

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího Diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Martinu Stolárikovi Ph.D., který byl vedoucí mé diplomové práce, za poskytnuté konzultace při psaní diplomové práce, za jeho trpělivost a čas, který mi věnoval.

ANOTACE

Cílem diplomové práce je navržení trhacích prací pro tramvajový tunel v Brně Žabovřesky podél silnice I/42 pod Wilsonovým lesem.

Pro dosažení cíle je provedeno porovnání tří různých metod (výpočtů) návrhů trhacích prací. V rešeršní části jsou obecně popsány základní informace o používaných trhavinách, způsobu roznětu, metodách nabíjení a škodlivých účincích vzniklých od trhací práce. Dále jsou zde uvedeny veškeré potřebné vztahy pro výpočet metod návrhů pro trhací práce dle Mečír – Válek, Olofsson, Bhandari.

V praktické části diplomové práce je proveden návrh trhacích prací dle jednotlivých výše citovaných metod, výpočet návrhu roznětné sítě a výpočet vlivu trhací práce na okolní prostředí. Návrhové metody jsou spočítány pro dva typy trhaviny, emulzní trhavinu Kemmitti a plastickou trhavinu Perunit E. Pro závěrečné zhodnocení je proveden výběr doporučené metody a trhaviny i z hlediska orientačního ekonomického propočtu jednotlivých návrhů.

KLÍČOVÉ SLOVA

Ražba podzemních staveb, podzemní stavby, trhací práce, tunel, roznětné vedení, trhavina, emulzní trhavina, Kemmitti 810, Perunit E, plastická trhavina, seizmický účinek, Olofsson, Mečír – Válek, Gustafsson, Bhandari

ANNOTATION

The objective of this master's thesis is to design blasting for a tramway tunnel located in Brno - Žabovřesky, along the I/42 road under the Wilson forest. To reach the objective, three various methods (calculations) of conducting the blasting are executed. In the research part, basic information on the explosives used, the types of ignition, the methods of loading, and the harmful effects of the blasting are described in general. In addition, all the necessary formulas for calculations of the various blasting operation methods by Mečíř - Válek, Olofsson, and Bhandari are listed there.

In the practical part of this master's thesis, blasting calculations based on the methods mentioned above are run, as well as firing circuit calculations and an estimation of the harmful effects of the blasting on the surroundings. Suggested methods are calculated for two different types of explosives: emulsion explosive Kemmitti and plastic explosive Perunit E. For the final evaluation, a recommended explosive and method used based on approximate financial calculations of individual suggestions has been chosen.

KEY WORDS

underground structures' excavation, underground structures, blasting, tunnel, firing circuit, explosive, emulsion explosive, Kemmitti 810, Perunit E, plastic explosive, seismic effect, Olofsson, Mečíř - Válek, Gustafsson, Bhandari

OBSAH

1.	ÚVOD	11
2.	ROZPOJOVÁNÍ HORNIN VÝBUchem	13
2.1.	Mechanismus rozpojení hornin	13
2.2.	Škodlivé účinky trhacích prací	14
2.2.1.	Rozlet úlomků rozpojovaného materiálu	15
2.2.2.	Vzdušná tlaková vlna	15
2.2.3.	Seizmické účinky trhací práce	16
2.2.4.	Míra poškození okolních objektů	16
2.2.5.	Akustické projevy trhacích prací	22
3.	PROSTŘEDKY TRHACÍCH PRACÍ	23
3.1.	Rozdělení výbušnin	23
3.1.1.	Emulzní trhaviny	24
3.1.2.	Plastické trhaviny	24
3.1.3.	Slurry	24
3.2.	Technologie nabíjení	25
3.2.1.	Ruční nabíjení	25
3.2.2.	Nabíjecí zařízení	25
3.2.3.	Systém nabíjení a mísení emulzních trhavin	25
3.3.	Běžné metody roznětu	26
3.3.1.	Neelektrický roznět	26
3.3.2.	Elektrický roznět	27
3.3.3.	Elektronický roznět	32
4.	DIMENZOVÁNÍ NÁLOŽÍ PRO TRHACÍ PRÁCE	34
4.1.	Dimenzování náloží podle Mečíř – Válek	34
4.2.	Dimenzování náloží dle Olofssona	39
4.3.	Dimenzování náloží dle Bhandariho	44

5.	NÁVRH TRHACÍCH PRACÍ PRO PLÁNOVANOU VÝSTAVBU TRAMVAJOVÉHO TUNELU.....	48
5.1.	Popis lokality.....	48
5.2.	Specifikace výrubu.....	52
5.3.	Vlastnosti a složení horninového prostředí	52
5.4.	Nežádoucí účinky trhací práce	56
5.5.	Návrh trhacích prací.....	59
5.5.1.	Výpočet nálože podle Mečíře – Válka	59
5.5.2.	Výpočet nálože podle Olofssona.....	66
5.5.1.	Výpočet nálože podle Bhandari	72
5.6.	Návrh roznětné sítě	77
5.7.	Závěrečné vyhodnocení	82
6.	ZÁVĚR	84
	Seznam literatury	86
	Obrázky v textu.....	87
	Tabulky v textu	88
	Grafy v textu	90
	Seznam rovnic.....	90

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, ZKRATEK

a	– vzdálenost vrtů prvního čtverce zálomu od uvolňovacího vrtu [m]
B	– délka odporové úsečky [m]
C-C	– maximální vzdálenost vrtů od nenabitého vrtu v zálomu [m]
D_{zv}	– průměr nenabíjeného zálomového vrtu v přímém zálomu [m]
F_{hr}	– plocha hrubé výlomu čelby [m ²]
H	– délka vrtu [m]
H_r	– délka zabírky [m]
ID	– identifikační číslo
k_m	– nálož trhaviny v 1 m nabíjené části vrtu [kg]
l_b	– měrná koncentrace nálože na 1 m vrtu [kg.m ⁻¹]
l_{bt}	– skutečná měrná hmotnost nálože nabíjené do vrtu [kg.m ⁻¹]
N_c	– hmotnost nálože na celý cyklus [kg]
N_z	– hmotnost nálože zálomu [kg]
N_o	– hmotnost nálože obrysových a přibírkových vrtů [kg]
Q_b	– hmotnost nálože v patě vrtu [kg]
Q_c	– hmotnost nálože ve sloupci vrtu [kg]
Q_{celkem}	– hmotnost nálože v 1 vrtu [kg]
Q_{skut}	– skutečná hmotnost nálože nabíjená do vrtu [kg]
q_r	– základní měrná spotřeba trhaviny pro ražení [kg.m ⁻³]
R_{dt}	– únosnost základové půdy [MPa]
S_{zv}	– rozteč nabíjených zálomových vrtů od vrtu nenabitého u přímého zálomu [kg]
TP	– trhačí práce
TVO	– technický vedoucí odstřelu

Ostatní zkratky jsou uvedené v textu.

1. ÚVOD

Podzemní stavby obecně jsou náročné jak z hlediska technologického, tak i z hlediska finančního. Zahloubením díla pod povrch terénu dojde k uvolnění prostoru na povrchu. Vzhledem k rostoucímu rozvoji dopravy u velkých měst, zvláště pak v historických centrech měst, stávající dopravní infrastruktura již nevyhovuje současným dopravním požadavkům. Tuto situaci je možno řešit rozšiřováním nebo novou výstavbou dopravní infrastruktury. Možnost rozšíření stávající dopravní infrastruktury v zastavěné oblasti však není vždy možné. Jedním z vhodných řešení je umístění stavby pod povrch terénu. Velkou roli zde však hraje především geologická stavba území.

Tato situace nastala a dlouhodobě působí dopravní problémy v Brně. Původní komunikace I/42 již svými parametry nevyhovuje každodenní dopravní situaci v místní části Žabovřesky. Projektovaným záměrem města Brna je přeložení stávající části tramvajové trati do tunelu, čímž dojde k uvolnění prostoru pro rozšíření stávající komunikace.

Diplomová práce je proto zaměřena na návrh trhavých prací pro projektovaný tunel v Brně Žabovřesky. Návrh je prováděn porovnáním tří metod pro výpočet nálože. Návrhy jsou prováděny pro dvě odlišné trhaviny (plastické, emulzní). Návrh musí splňovat požadavky na stupeň seizmických otřesů, jelikož tunelová trasa prochází přímo pod zástavbou řadových domů. Diplomová práce je dále rozdělena na část teoretickou a praktickou.

Teoretická část práce je rozčleněna do několika kapitol. Jako první se zabývá mechanismem rozpojování hornin pomocí výbuchu. Dále popisuje možné nežádoucí účinky, které vznikají při používání travin, zvláště pak seizmické účinky od trhavých prací. Druhá kapitola uvádí prostředky trhavé techniky. Konkrétně popisuje výbušniny a jejich rozdělení podle výbuchové přeměny a konzistence. Následně se věnuje technologii nabíjení a v poslední podkapitole pak metodám roznětu, konkrétně popisuje iniciaci trhaviny pomocí neelektrického, elektrického a elektronického roznětu. Závěrečná kapitola řešební části popisuje tři zvolené metody návrhu výpočtu náloží pro trhavé práce. Konkrétně popisuje metody výpočtů náloží pro ražení dle Mečíře – Válka, Olofssona a Bhandariho.

Praktická část práce se zabývá návrhem TP podle výše uvedených metod pro projektovaný tramvajový tunel v Brně – Žabovřesky. V úvodu je podrobněji popsána lokalita plánované realizace tunelu. Popis zahrnuje vlastnosti a složení horninového masívu, specifikaci výrubu a pozici plánované trasy tunelu ke stávající zástavbě. Praktická část pokračuje návrhem opatření proti seizmickým účinkům od výbuchu náloží a přechází k výpočtům návrhu nálože podle zvolených metod výpočtů pro ražení. Výpočty jsou prováděny pro dvě odlišné trhaviny, emulzní trhavinu Kemmitti 810 a plastickou trhavinu Perunit E, včetně výpočtu návrhu elektrického roznětu pro trhací práce. Výsledky metod jsou příslušně pasportizovány. V závěrečné kapitole jsou výsledky metod srovnány a vyhodnoceny.

2. ROZPOJOVÁNÍ HORNIN VÝBUchem

Obecně je výbuch velmi rychlý fyzikální nebo fyzikálně chemický děj, při kterém se ve velmi krátkém čase uvolní velké množství energie. Tato uvolněná energie se formou mechanické práce projevuje působím tlaku na svoje okolí. Výbuch je téměř vždy doprovázen nárustem, teploty, zvukovými a světelnými projevy. [8,10]

Z hlediska typu výbuchu můžeme stanovit dva základní typy výbuchu.

Fyzikální výbuch – děj, při kterém vybuchující látka nemění svoji chemickou podstatu. (imploze, exploze, elektrický výboj) [8,10]

Chemický, chemicko-fyzikální výbuch – děj, při kterém při výbuchu dochází přeměna původní látky na látku novou s jinou chemickou podstatou. Do této kategorie zařídujeme výbuchy trhavin. Chemický výbuch lze dále rozdělit podle rychlosti děje. [7,9]

Výbuchové hoření – charakteristické pro mnoho střelivin. Výbušná přeměna (jeho šíření) je pomalejší než rychlost zvuku. Po výbuchové zplodiny mají dostatek času na únik z prostředí bez nárustu okolního tlaku od těchto zplodin. [8,10]

Detonace a detonační rychlost – typická pro průmyslové trhaviny používané pro trhací práce. Výbušná přeměna se šíří vyšší rychlostí, než je rychlost zvuku. Detonační vlna se vyznačuje velkým nárustem tlaku. S detonací úzce souvisí detonační rychlost, jednou z nejvýznamnějších vlastností výbušnin. Má rozhodující vliv na brizanci (schopnost výbušniny tříštit materiál). [8,10]

2.1. Mechanismus rozpojení hornin

K rozpojení horniny dochází při výbuchu nálože. Při výbušné přeměně trhaviny, která probíhá velkou rychlostí, se současně uvolňuje energie a povýbuchové zplodiny. Dochází ke stlačování a pohybu okolního prostředí (horniny) vlivem rázových (tlakových) vlny a rozpínajících se povýbochových plynů. Při průchodu tlakové vlny prostředím dochází ke skokovému nárustu hustoty, teploty a tlaku ve směru pohybu vlny. Vlna s rostoucí vzdáleností ztrácí rychlost a přechází ve vlnu zvukovou.

Účinky od rozpínajících se povýbuchových plynů jsou, co se týče dosahu, o mnoho menší než účinky vyvolané od napěťových vln. Tlak plynů působí v bezprostředním okolí vrtu. Maximální dosah tohoto poškození je roven průměru původního vrtu. Vzniká pásmo drcení. [8,10]

1 – pásmo tříštění
 2 – pásmo odhození
 3 – pásmo sesutí
 4 – pásmo natřesení
 5 – seizmické pásmo
 R – poloměr působení nálož
 R' – oblast rozpojení
 a – tlaková vlna
 b – odražená vlna tlaková
 v – záběr

2.2. Škodlivé účinky trhacích prací

14

nepříznivých účinků je zvýšením kvality projektování trhací práce, čeho je předpoklad důkladná znalost prostředí a technické znalosti v oblasti rozpojování hornin. [8,12]

2.2.1. Rozlet úlomků rozpojovaného materiálu

Bezpečnost při trhací práci může být ohrožena nadměrným odhozem rozpojovaného materiálu. Jako častá příčiny nadměrného odhozu je nesprávný subjektivní odhad a nerespektování možného zmenšení záběru vlivem deviace vrtů, při projektování trhacích prací (rozmístění hmotnosti náloží, organizace odstřelu). Nadměrný odhoz může být také způsoben skrytými strukturálními vlastnostmi rozpojovaného (horniny) materiálu např. (tektonika, dutiny apod.). [8,12]

2.2.2. Vzdušná tlaková vlna

Výbuchem nálože vzniká vzdušná tlaková vlna, která působí na prostředí velikostí přetlaku v určité vzdálenosti od místa výbuchu. Tlaková vlna je tvořená tenkou vrstvou stlačeného vzduchu, která má v blízkosti zdroje (vybuchující nálože) charakter rázové vlny a ve větší vzdálenosti přechází na vlnu zvukovou. Intenzitu tlakové vlny je možné měřit tlakovými snímači. Pro přibližný výpočet přetlaku se používá vztah (1).

$$P = k \cdot \sqrt{\frac{Q}{L^3}} \quad (1)$$

Kde:

P – přetlak, jednotka [Pa]

k – konstanta závislá od vlivu prostředí v okolí nálože

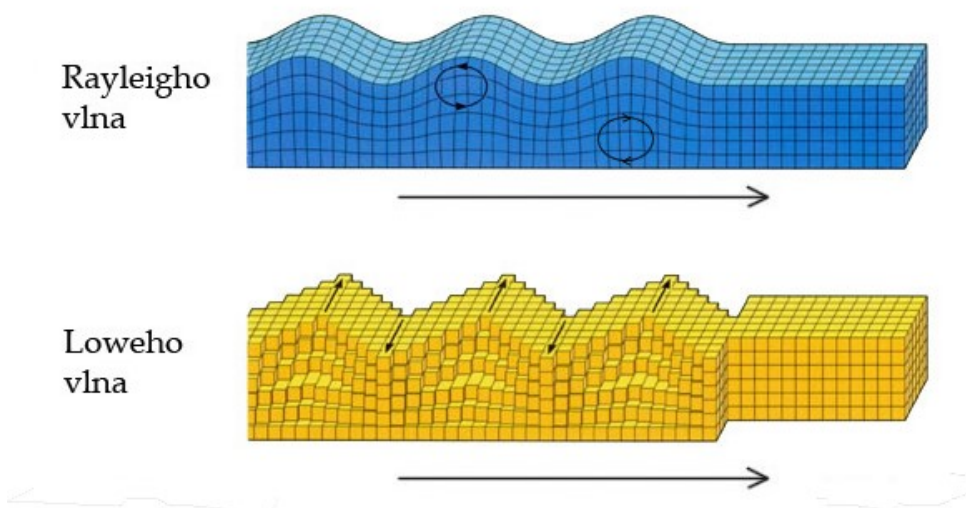
Q – hmotnost nálože [kg]

L – je vzdálenost od posuzovaného místa od centra výbuchu

Při dobrém utěsnění náloží je riziko poškození zdraví vzdušnou tlakovou vlnou menší než u ohrožení zdraví rozletem rozpojovaného materiálu. Silnější tlakovou vlnu mají potom výbuchy polouzavřené a příložné nálože. Pro člověka je škodlivý už relativně nízký přetlak. Těžké až smrtelné zranění vznikají při přetlaku nad 0,1 MPa. Velmi intenzivně a bolestivě jsou vnímány přetlaky při hodnotách nad 0,005 MPa. [8, 10,11]

2.2.3. Seizmické účinky trhací práce

Nespotřebovaná energie výbuchu k rozpojení horniny se projevuje v podobě tlakových vln, rozletu rubaniny a seizmických projevů. Velikost otřesového účinku je přímo úměrná hmotnosti nálože, brzanci a hustotě nálože trhaviny přivedené k výbuchu. Část energie výbuchu, která se nevyužije na rozpojení, vniká do obklopujícího prostředí jako rázový impuls šířící se od místa detonace všesměrně formou pružných rázových vln. Nejvýznamnější jsou vlny Rayleighovy a Loveovy viz obrázek č.2. Rychlost šíření podélných a příčných vln je stejná jako rychlost zvuku v daném prostředí. [8,10,11]



Obrázek č. 2 Průběh šíření podélných a příčných vln. [13]

2.2.4. Míra poškození okolních objektů

Míra škody závisí na několika faktorech, především na stavu objektu, na vlastnostech a povaze základů a základové půdy, stáří objektu, údržba objektu a dřívější poškození objektu. Účinky otřesu od trhací práce nelze přesně matematicky vyjádřit z kmitání horniny v příslušném místě, jedná se o velmi složitý periodický pohyb. Kmitání má jisté podobnosti jako blízké zemětřesení.

Aby bylo možné objektivně posoudit případnou škodu, kterou na stavebních objektech může způsobit otřes při odstřelu, je nutno změřit otřesy na místě vhodnými přístroji a výsledky vyhodnotit. Pro přibližnou orientaci případné míry poškození lze použít

některý ze vztahů nebo nomogramů, které dovolují hrubý předběžný odhad seismického působení výbuchu na okolní objekty. Pro odhad míry nebezpečí škody, působením seismických vln je možnou použít např. Morrisův zjednodušený vztah (2), který posuzuje nebezpečí podle velikosti amplitudy. Pokud jsou hodnoty seismické amplitudy menší než 0,2 mm, je účinek otřesu od trhací práce zanedbatelný. Výsledky jsou pouze orientační. [1,3,9]

$$A_s = \frac{k \cdot \sqrt{N}}{L_d} \quad (2)$$

Kde:

A_s – amplituda seismické vlny [μm]

k – konstanta prostředí [-]

N – hmotnost nálože [kg]

L_d – vzd. od místa výbuchu [m]

Novější metoda pro odhadu míry škody – poškození je měřitelná a ověřitelná pomocí vhodných zařízení a snímačů. Metoda posuzuje rychlost kmitání, kterou lze odvodit z amplitudy a frekvence kmitu dle vzorce (3).

$$v_k = 2\pi \cdot f_v \cdot A_s \cdot 10^{-4} \quad (3)$$

Kde:

v_k – rychlost kmitání [$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$]

f_v – frekvence vibrací [s^{-1}]

A_s – amplituda seismické vlny [μm]

Poškození staveb v závislosti na rychlosti kmitání nelze vyjádřit jednoznačně. Pro orientační popis možných škod na objektech je možno použít hodnoty uvedené v tabulce č.1. [1]

Tabulka č. 1 Škodlivé seizmické účinky v závislosti na rychlosti kmitání [1]

Stupeň	Rychlost kmitání v_k [cm/s]	Charakteristika otřesů a jejich účinků
1	od 0,2	Člověk otřes nevnímá, chvění lze zjistit jen přístroji
2	0,2 až 0,5	Citlivé osoby chvění za ticha a klidu, hodnota by neměla být překročena u památkově chráněných budov (zřícenin)
3	0,5 až 1,0	Otřes je již člověkem vnímatelný, zpravidla osobami informovanými o odstřelu
4	1,0 až 1,5	Otřes je vnímatelný většinou lidí, chvějí se okenní tabule, ve zcela výjimečných případech se mohou objevovat příznaky nepatrných poškození
5	1,5 až 3,0	První známky velmi lehkých škod, odlupování malby výjimečně vlasové trhliny v omítce
6	3,0 až 7,5	Lehké škody na již poškozených budovách, které byly v dobrém stavu, tenké trhliny v omítce, odpadání omítky, výjimečně uvolňování nesourodých dílů
7	7,5 až 10,0	Možné škody na budovách, které byly v dobrém stavu, tenké trhliny ve stěnách, trhliny v komínech, opadávání velkých kusů omítky, opadávání střešní krytiny
8	10, až 20,0	Vážné škody, velké trhliny v nosných zdech trhliny v betonu, zřícení komínů
9	20,0 až 40,0	Rozrušení budovy, rozpadávání zdiva, zřícení části stěn, vážné škody v železobetonových konstrukcích
10	nad 40,0	Možné zřícení budov a velmi těžká poškození objektů všech druhů

Přípustné hodnoty dynamického zatížení stavebních objektů vlivem seizmicity od trhacích prací lze stanovit podle normy ČSN 73 0040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva.“ Norma hodnotí poškození stavebních objektů z frekvence kmitání. Obvyklé frekvence buzení od trhacích prací jsou dle [normy] od 5 Hz do 50 Hz. Frekvence pro 10 Hz odpovídá ekvivalentu hmotnosti výbušniny nad 2 t, hodnota nad 50 Hz pak ekvivalentu výbušniny pod 5 kg. Ověření maximální hmotnosti nálože pro jeden časový stupně lze odvodit ze vzorce pro rychlost kmitání podloží (4).[3]

$$V_p = k \cdot \frac{\sqrt{m_n}}{L} \quad (4)$$

Kde:

V_p – přípustná rychlost kmitání [mm.s^{-1}]

L – vzdálenost od těžiště odstřelu [m]

m_n – ekvivalentní hmotnost nálože [kg]

k – konstanta přenosového prostředí

Stupeň poškození objektů norma ČSN 73 0040 hodnotí podle tabulky č.2. Samotné objekty z hlediska stavební konstrukce norma zařadí do jednotlivých tříd uvedených níže.

- | | |
|----------|--|
| třída A: | chatrné stavby neodpovídající stavebním předpisům, zříceniny, historické budovy z neopracovaného kamene nebo cihel s klenutými překlady, průvlaky a plošné klenby nad místnostmi v přízemí a suterénu budovy v památkové ochraně apod. |
| třída B: | běžné cihelné stavby, izolované nebo řadové domky s půdorysnou plochou do 200 m^2 , nejvýše o 3 podlažích. |
| třída C: | veliké budovy z cihel a tvárnic, dobře ztužené stavby panelové a montované z betonových prvků, zdivo na cementovou maltu. |
| třída D: | budovy ze skeletu ocelového nebo betonového, dřevěné a hrázděné stavby s dobrým ztužením, prostým betonem. |
| třída E: | železobetonové a ocelové konstrukce, výrobní a provozní objekty železobetonová síla a zásobníky. |

Druhy základové půdy jsou pak dle výše citované normy [3] členěny do následujících kategorií:

- | | |
|--------------|--|
| Kategorie a) | Horniny všech tříd při tabulkové výpočtové únosnosti $R_{dt} \leq 0,15 \text{ MPa}$ a jestliže je hladina podzemní vody trvale v hloubce rozsahu 1 m až 3 m pod základovou spárou. |
| Kategorie b) | Horniny všech tříd při tabulkové výpočtové únosnosti $R_{dt} \leq 0,15 \text{ MPa}$ a jestliže je HPV trvale v hloubce větší než 3 m pod základovou spárou. Do |

této kategorie patří i skalní horniny všech tříd při tabulkové $R_{dt} \geq 0,15$ MPa a jestliže HPV je v rozsahu od 1 m do 3 m pod základovou spárou

Kategorie c) Horniny všech tříd při tabulkové výpočtové únosnosti $R_{dt} \geq 0,15$ MPa a jestliže je HPV trvale v hloubce větší než 3 m pod základovou spárou. Do této kategorie patří i skalní horniny všech tříd při tabulkové $R_{dt} > 0,6$ MPa a jestliže HPV je v trvale v hloubce 1 m pod základovou spárou. [3]

Tabulka č. 2 Stupeň poškození objektů [3]

Stupeň poškození	Popis poškození
0	Bez poškození. Nevznikají žádná viditelná poškození. Funkce objektů jako např. vodotěsnost nádrží nebo ostění tunelů je plně zachována.
1	První známky poškození trhliny do šířky 1 mm na styku stavebních prvků (např. ve stropních fabionech).
2	Lehká rozrušení s malými škodami. Trhliny do šířky 5 mm v omítce, příčkách, v komínovém zdivu, opadávání omítky, uvolnění střešní krytiny.
3	Střední rozrušení s vážnými škodami. Stabilita však není ohrožena. Trhliny širší než 5 mm v příčkách i nosných zdech. Opadávání střešní krytiny a části zdiva komínů
4	Značné rozrušení s nebezpečnými škodami. Trhliny v nosných zdech a překladech, ohrožující jejich statickou funkci zřícení příček, vyplňovacího zdiva a komínů. Trhliny v prostém betonu. Porušení celkové stability.
5	Úplné rozrušení a destrukce. Zřícení cihelných staveb nebo jejich částí s hlavními nosnými prvky konstrukce.

Po zatřídění veškerých veličin (stupeň poškození, třída odolnosti objektu, druh základové půdy) stanovuje norma závislost stupně poškození v závislosti na rychlosti kmitání a frekvenci otřesu dle tabulky č.3.

Tabulka č. 3 Závislost stupně poškození na maximální rychlosti kmitání [3]

rychlost kmitání [mm/s ⁻¹] pro obor frekvence otřesu (f)			stupeň poškození	třída odolnosti objektu	druh základové půdy
f < 10Hz	10 - 50 Hz	f < 50 Hz			
do 3	3 až 6	6 až 15	0	A	a
3 až 6	6 až 12	12 až 20	0	A	b,c
				B	a
6 až 10	10 až 20	15 až 30	0	B	b,c
				C	a
			1	A	a
8 až 15	15 až 30	20 až 40	0	C	b
				B	c
			1	A	b,c
				B	a
10 až 20	20 až 30	30 až 50	0	C	c
				D	a
			1	B	b
				C	a
15 až 25	25 až 40	40 až 70	2	A	a
			0	D	b,c
				E	a
			1	C	b
				B	c
20 až 40	40 až 60	60 až 100	2	A	b,c
				B	a
			0	E	b,c
				F	a
			1	C	c
				D	a
30 až 50	50 až 100	100 až 150	2	B	b,c
				C	a
			0	F	b,c
				D	b,c
			1	E	a
				C	b

Negativní účinky trhacích prací působením seizmických projevů na okolní objekty není možné zcela vyloučit. Je však možné tyto projevy výrazně omezit nebo zmírnit. Hlavní prostředky ke snížení otřesných účinků jsou uvedeny v následujících odrážkách:

- rozdělení náloží do menších celků,
- použití milisekundového roznětu,
- použití odlehčených náloží (menší hustota trhaviny, mezerové uspořádání nálože),
- provádění odstřelů jen v nezbytně nutném rozsahu,
- používání vždy přiměřených náloží. [10]

2.2.5. Akustické projevy trhacích prací

Další z negativních účinků vzniklých od trhacích prací je hluk. Podle hygienického předpisu „nařízení vlády č. 148/2006 Sb. O ochraně zdraví před účinky hluku a vibrací“ platí přípustné hodnoty, které musí být dodrženy. Intenzita hluku měřená v obytné zástavbě nesmí přes den překročit hodnotu 83 dB a v noci potom nesmí překročit hodnotu 40 dB. Měření probíhá ve výšce 14,5 m a 2 m od zástavby. [10]

3. PROSTŘEDKY TRHACÍCH PRACÍ

Mezi prostředky trhací techniky patří výbušniny, rozněcovadla a pomůcky k použití výbušnin. Výbušniny jsou látky schopné chemického výbuchu. Výbušniny je možné dělit dle různých systémů. Podle způsobu vyvolání výbušné přeměny je můžeme rozdělit na výbušniny přímé a výbušniny nepřímé a podle povahy výbuchové přeměny (viz kapitola 3.1). Dalším prostředkem trhací techniky jsou rozněcovadla a prostředky pro roznět výbušniny. (viz kapitola 3.3). Za pomůcky k použití výbušnin se dále označuje veškeré zařízení nebo prostředky, které přicházejí do styku s výbušninou, působí na její fyzikální a chemické vlastnosti a jsou potřebné k provedení trhacích prací (viz kapitola 3.2). [1,7,8,10]

3.1. Rozdělení výbušnin

Výbušniny jsou látky schopné chemického výbuchu. Podle způsobu vyvolání výbušné přeměny dělíme výbušniny na přímé, které se přivedou k typické výbuchové přeměně jednoduchým podnětem např.: nárazem, třením, nápichem, plamenem apod. a výbušniny nepřímé, které můžeme přivést k výbuchu obvykle jen pomocí většího množství energie zpravidla výbuchem přímé výbušniny. Do této skupiny patří téměř všechny průmyslové trhaviny. [1,7,8,10]

Výbušniny rozdělujeme podle povahy výbuchové přeměny, která je pro daný druh výbušniny typická a podle určení na střeliviny, třaskaviny, trhaviny a průmyslové výbušniny. [1,7,8,10]

Střeliviny jsou látky, které mají schopnost uvolňovat hořící plyny o vysokém tlaku a teplotě. Výbuchovou přeměnou je deflagrace. Obecně se dělí na prachy a pohonné hmoty (kapalné, tuhé a hybridní). Prachy se využívají k laboraci výmetných náplní nábojů. Pohonné hmoty jsou výbušniny používané k pohonu raket.

Třaskaviny jsou přímé výbušniny, které lze k výbuchu přivést poměrně malým podnětem (úder, tření, nápich, jiskra, apod.). Jsou to výbušniny schopné rychlého přechodu od výbuchového hoření k detonaci. Již v několika desetinách až tisícinách gramů třaskaviny dosáhne rychlost rozkladu několik tisíc metrů za sekundu. Používají se zpravidla k vyvolání detonace jiných výbušnin, při trhacích pracích slouží třaskaviny k počáteční iniciaci průmyslových trhavin, neboť tvoří primární náplň rozbušek.

Průmyslové trhaviny jsou směsi organických a anorganických látek výbušné i nevýbušné povahy, jejichž úkolem je rozpojení materiálu. K jejich iniciaci je zapotřebí silného počátečního impulsu, kterým je obvykle výbuch rozbušky nebo počínové náložky.

Trhaviny jsou výbušniny, jejichž hlavním typem výbušné přeměny je detonace. Na rozdíl od traskavin jsou však trhavin y méně citlivé. K vyvolání jejich detonace je nutné použít silného podnětu. např. detonace jiné výbušniny. Při trhacích pracích jsou jedním ze základních prostředků pro rozpojování hornin.

Trhavin y požívané k trhacím pracím můžeme dále dělit podle konzistence. Zástupci některých z tříd dělení jsou uvedeny v textu níže. [10]

3.1.1. Emulzní trhavin y

Emulze jsou dvoufázový systém na bázi voda, olej a senzibilátor. U emulzních trhav in je mísená takzvaná emulzní matrice, což bývá vodný roztok dusičnanu amonného, emulgátor s olejem a senzibilátory. Senzibilátor může být výbušný (tritol) nebo nevýbušný (perlit mikrokuličky, proplynění). Emulze mají vysokou detonační rychlostí a vynikající vodovzdorností. [8,9,10]

3.1.2. Plastické trhavin y

Plastické trhavin y označované i jako želatinové jsou běžně používané trhavin y pro ražby tunelů. Tyto trhavin y jsou vyráběny a baleny do maloprůměrových i veloprůměrových válečků z papíru potaženého parafínem nebo popřípadě PVC fólií. [8,9,10]

3.1.3. Slurry

Vodní gely nebo též slurry 2. a 3. generace. Prvotně byly vynalezeny ke zlepšení voděodolných vlastností, hustotě a účinku dusičnanu amonného. Směs se skládá z nitrátů, vody a senzibilátorů jak výbušných, tak nevýbušných. Tato směs je při výrobě mísená a balena do plastových nebo voskových obalů. Při mísení a manipulaci jsou šetrnější k lidskému organizmu. [8,9,10]

3.2. Technologie nabíjení

Nabíjení náloží (umístění náloží do připravených vývrtů) je podřízeno typů trhavin. V následujících podkapitolách jsou uvedeny některé metody nabíjení náloží do vrtů. [8,10]

3.2.1. Ruční nabíjení

Pro ruční nabíjení horizontálních vrtů se používá takzvaný „nabíják.“ Jedná se o nabíjecí tyče, pomocí kterých se do vrtů vtlačí nálož. Tato metoda patří mezi nejbezpečnější ruční nabíjecí metody. Materiál „nabíjaku“ bývá nejčastěji dřevo, laminát, dural. Veškeré materiály vyjma dřeva musí projít schválením pro použití u trhacích prací. [10]

3.2.2. Nabíjecí zařízení

Do této skupiny patří pneumatická nabíjecí zařízení. Tato zařízení sloužila k dopravě náloží nebo směsí do vývrtů pomocí stlačeného vzduchu, zafouknutím práškových trhavin nebo mísením a nabíjením trhavin přímo na místě.

Nabíjecí pneumatické zařízení – dnes už nevyužívané zařízení, které pomocí stlačeného vzduchu dokáže dopravit náložky o maximálním průměru 30 mm až do paty vrtu. [10]

3.2.3. Systém nabíjení a mísení emulzních trhavin

Tento systém se skládá z oddělených uložišť výbušných a nevýbušných látek a mixážního vozu (obr č.3). Tyto vozy jsou speciálně navrženy, aby přepravily na čelbu veškeré potřebné komponenty k „výrobě“ funkční trhaviny. Dále se tyto komponenty přímo na čelbě mísí a pomocí aplikátoru je směs dopravována přímo do vývrtů. Pomocí kontrolního systému na voze je možné při procesech mísení a plnění kontrolovat a upravovat parametry směsi, např: množství aplikované směsi, viskozitu směsi, poměr mísených látek ve směsi apod. Směs je ve vývrtech aktivní po uplynutí cca 5 až 20 minut. Tento časový údaj je podřízen typu použité emulzní trhaviny. [2,9,10]



Obrázek č. 3 Nabíjecí vůz pro podzemní díla – emulzní trhavina, Charmec LC 605 D(V) [14]

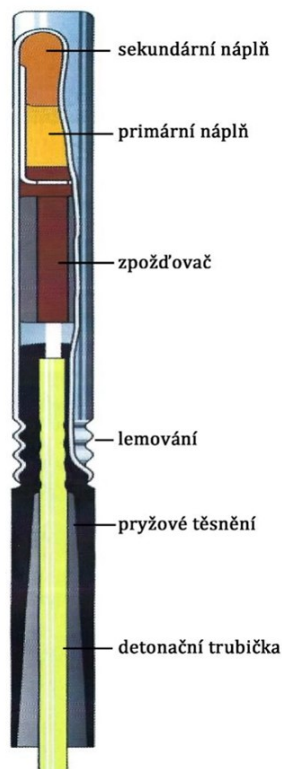
3.3. Běžné metody roznětu

Bezpečnost a efektivnost trhací práce je závislá na volbě způsobu roznětu. Rozněcovadla tvoří první a základní prvek trhací práce. Nesprávná volba roznětu nebo nedbalost v jejich použití může způsobit jak hmotné škody, tak i závažné ohrožení života a zdraví osob. Mezi základní roznětné metody patří neelektrický, elektrický a elektronický roznět. Jednotlivé druhy jsou uvedeny v následujících podkapitolách. [1,10]

3.3.1. Neelektrický roznět

Neelektrický roznět typu NONEL je v současnosti běžně využívaným způsobem iniciace výbušniny při ražbě tunelů a štol. Mezi jeho výhody oproti elektrickému roznětu patří vyloučení náhodného roznětu způsobeného cizím zdrojem elektrické energie, neomezený počet současně zapojených rozbušek a použití roznětu v mokřem prostředí.

Neelektrické rozbušky – zážeh rozbušek je iniciováno přímo od přívodního vedení. Přívodní vedení je nejčastěji bleskovice, mikrobleskovice. Konstrukce rozbušek je dále popsána na obrázku č.4. U tohoto typu rozbušek je možné časovat dobu výbuchu. [1,10]



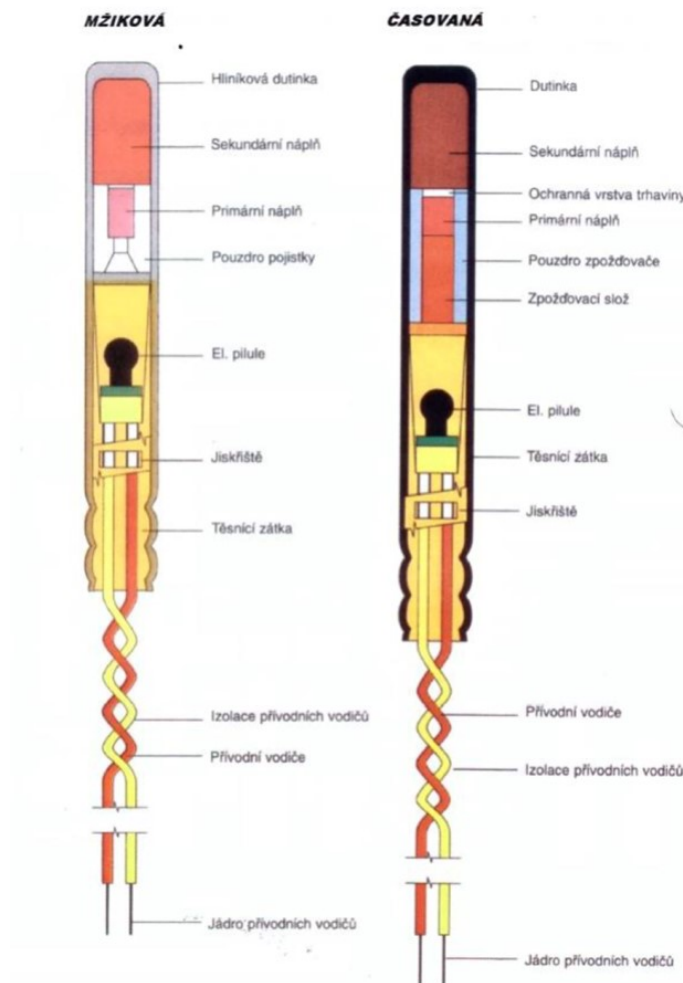
Obrázek č. 4 základní konstrukce neelektrické rozbušky [9]

3.3.2. Elektrický roznět

Principem elektrického roznětu je přivést na můstek rozbušky elektrickou energii, aby při průchodu proudu můstkem bylo dosaženo zážehové teploty cca 250 °C a došlo tak k iniciaci pilule palníku. Elektrická roznětná síť se skládá z roznětnice (dynamoelektrické, kondenzátorové), přívodního vedení (nejčastěji měděný vodič), elektrické rozbušky (časované, mžikové), volitelně jde do okruhu zapojit ohmmetr, popřípadě jiné měřicí zařízení dle potřeby. Části, ze kterých se skládá elektrická rozbuška jsou dále popsány na obrázku č.5. Rozdíl mezi mžikovou a časovanou rozbuškou je v reakčním čase primární směsi. Rozlišujeme tak rozbušky dle času iniciace na:

- mžiková, reakční čas do 4 ms
- časované milisekundové do 25 ms
- časované délečasované do 500 ms

Rozbušky v elektrickém roznětu je možné zapojovat do roznětné sítě sériově, paralelně nebo sérioparalelně. [1,9]



Obrázek č. 5 Konstrukce elektrických rozbušek [9]

Základní parametry elektrických rozbušek

Z hlediska bezpečnosti, manipulace a práce s elektrickými rozbuškami musí mít každá rozbuška stanoveny základní parametry (viz dále). Základní parametry uvádí každý výrobce rozbušek v produktových listech výrobku.

Bezpečný proud – maximální hodnota elektrického proudu, který může procházet rozbuškou a nedojde k její iniciaci. Tato hodnota je podstatná ke kontrole spolehlivosti zapojení celého okruhu.

Bezpečný impuls – analogií k bezpečnému proudu, je hodnota největšího roznětného impulsu vztaženého na $1\ \Omega$ odporu roznětné sítě, dodaného do pilule během stanovené doby. Při které nesmí nastat iniciace žádné rozbušky.

Aktivační proud – nejmenší hodnota proudu s časovým omezením, při které musí dojít ke spolehlivému roznětu všech rozbušek, zapojených v roznětném okruhu.

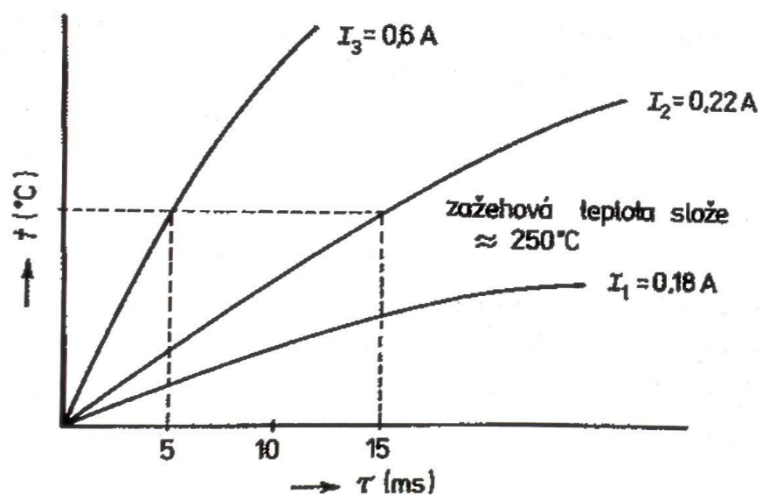
Zážehový impuls – hodnota nejmenšího zážehového impulsu vztaženého na $1\ \text{ohm}$ odporu roznětné sítě, dodaného do můstku pilule během stanoveného intervalu, při kterém musí dojít ke spolehlivému roznětu všech rozbušek zapojených v sériovém roznětném okruhu.

Časová konstanta oteplování – má vliv na zážehový čas rozbušek. Laboratorně se u rozbušek dají určit hodnoty bezpečných a zážehových proudů

Časová vybíjecí konstanta kondenzátoru – v podstatě hodnota časového průběhu vybíjení kondenzátorových roznětnic. [1,9]

Mechanismus funkce elektrické roznětu

Činnost elektrické rozbušky závisí pouze na vlastnostech elektrické pilule palníku. Průchodem elektrického proudu můstkem pilule dojde k ohřevu pilule. Elektrická energie se v můstku pilule mění díky vysokému odporu můstku na energii tepelnou. Závislost teploty můstku na hodnotě elektrického proudu je znázorněna v grafu č.1.



graf č. 1 Závislost teploty můstku na průchodu elektrického proudu [9]

Doba, která uplyne od začátku průtoku elektrického proudu do rozbušky až po její detonaci se nazývá reakční čas. Reakční čas je součtem zážehového času a přenosového času, vzorec (5). [10]

$$t_r = t_z + t_p \quad (5)$$

Kde:

t_r – reakční čas [s]

t_z – zážehový čas [s]

t_p – přenosový čas [s]

Zážehový čas je doba, která uplyne od okamžiku vypuštění proudu do rozbušky až po zažehnutí zážehové pilule. Přenosový čas je doba od iniciace pyrotechnické směsi kolem zážehové pilule až do doby iniciaci primární směsi v rozbušce. [10]

Pro úspěšný průběh elektrického roznětu musí být dodržena podmínka současnosti roznětu. Podmínku jistoty současného roznětu můžeme vyjádřit pomocí následujícího vztahu (6):

$$t_{r \min} \geq t_{z \max} \quad (6)$$

Kde:

$t_{r \min}$ – minimální reakční čas [s]

$t_{z \max}$ – maximální zážehový čas [s]

Dodržením této podmínky zajistíme bezpečnou iniciaci všech rozbušek v roznětné síti. Při detonaci první elektrické rozbušky dochází k přerušení vedení, a proto v tu chvíli už musí být zažehnuty zbývající rozbušky v roznětném vedení. [10]

Rizika a ochrana elektrického roznětu

Z důvodu nebezpečí předčasného roznětu vlivem cizí elektrické energie, které nelze předem spolehlivě vyloučit, se musí použít elektrická rozněcovadla s odpovídající elektrickou odolností nebo jiný vhodný druh roznětu.[12]

Bludné proudy – nelze-li odstranit nebezpečí předčasného roznětu vlivem bludných proudů vypnutím zdroje, musí se zajistit použití elektrických rozněcovadel s hodnotou bezpečného proudu nejméně třikrát vyšší, než je nevyšší zjištěná hodnota bludných proudů.[12]

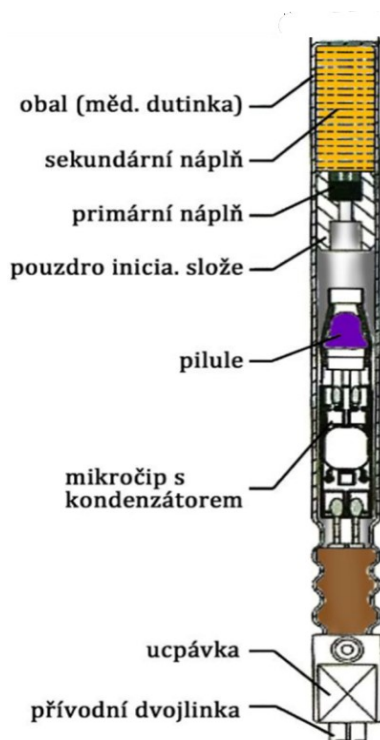
Elektrostatická energie – k ochraně elektrického roznětu před účinky elektrostatické energie na roznětnou síť se musí zajistit v manipulačním prostoru oblečení pracovníků a pomůcky k použití výbušnin, které nesmí být z materiálu s vysokou izolační schopností. Dále před každou prací s elektrickými rozněcovadly a s jakoukoliv částí roznětného vedení a taky každém přerušení těchto prací se musí všichni zúčastnění zbavit případného elektrostatického náboje dotykem s elektrostaticky uzemněným předmětem, vybití případného elektrostatického náboje dotykem přívodního vedení s elektrostaticky uzemněným předmětem před připojením na roznětnou síť. Vybití případného elektrostatického náboje dotykem přívodního vedení s elektrostaticky uzemněným předmětem před připojením na roznětnou síť a všechna zařízení z vodivých materiálů v manipulačním prostoru se musí uzemnit tak, aby svodový odpor nebyl vyšší než 10^6 ohmů. K uzemnění se nesmí použít vodivé části výstroje (kolejnice, potrubí apod.). [12]

Atmosférická elektrická energie – k ochraně před nežádoucím vlivem atmosférické elektrické energie musí organizace před zahájením přípravy elektrického roznětu až do uskutečnění odpalu vhodným způsobem zjišťovat výskyt, popřípadě přibližování bouřky (pomocí bouřkových hlídek, detektorů, radiopřijímačů apod.). Při bouřce, jejím přibližování, nebo lze-li ji očekávat, je na povrchu příprava elektrického roznětu zakázána. [12]

Vysokofrekvenční energie – v blízkosti zdroje vysokofrekvenční energie (vysílače, radiolokátoru apod.) musí být konce roznětného vedení až do připojení na roznětnici rozpojeny. Pokud není zdroj vysokofrekvenční energie vypnutý, nesmí být pro jednotlivé druhy elektrických rozněcovadel v závislosti od jeho výkonu bezpečná vzdálenost menší, než je uvedeno v příloze 7 vyhlášky č.72/1988 Sb. o používání výbušnin v platném znění [12]. Tato vzdálenost se měří od zdroje k nejbližší části roznětného vedení. [12]

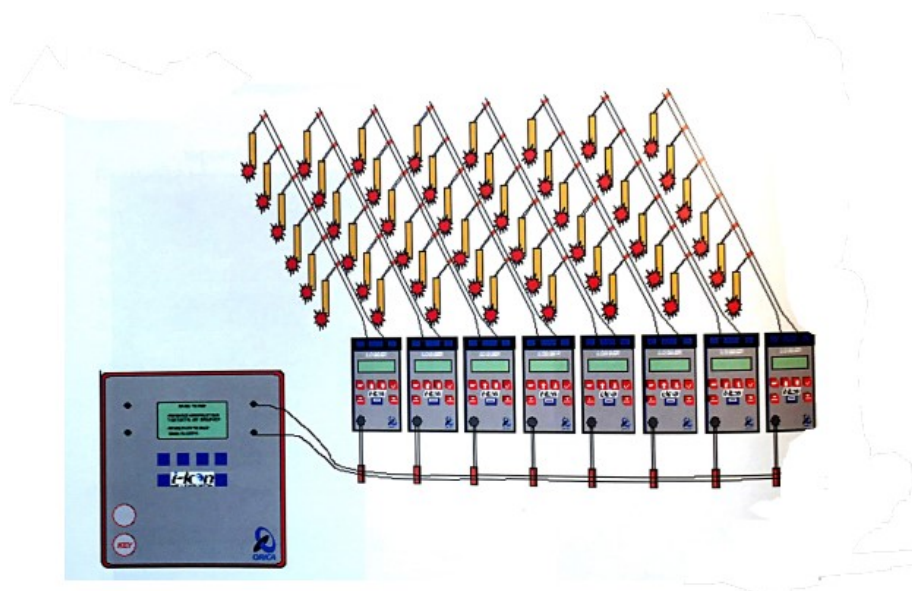
3.3.3. Elektronický roznět

Elektronický roznět je novější způsob roznětu. K iniciaci nálože dochází pomocí elektronických rozbušek (např. i-kon) s elektronickým časováním. Střelmistr nebo TVO podle potřeby může nastavit interval zpoždění každé rozbušky v rozsahu od 0 ms do 15000 ms s krokem po 1 ms. V každé takové rozbušce je procesor s jedinečným identifikačním číslem, které slouží pro pozdější identifikaci rozbušky v roznětné síti. Zpoždění rozbušky není řízeno hořením pyrotechnických složek, jak je tomu u běžných rozbušek, nýbrž pomocí elektronické části rozbušky. Konstrukce elektronické rozbušky je podrobně popsána na obrázku č.5 [8,10]



Obrázek č. 6 Konstrukce elektronické rozbušky, upraveno dle [10]

Roznětná síť se skládá z elektronické rozbušky, konektorů, loggerů a roznětnice. Logery (i-kon logger) se používají k testování rozbušky a programování intervalu zpoždění. Střelmistr nebo TVO si načte příslušné ID rozbušky a pro každou rozbušku přidělí požadované zpoždění. Pomocí jednoho logerru je možné takto naprogramovat a následně iniciovat až 200 rozbušek. Roznětnice (i-kon blaster 2400S) je jednotka, která řídí programovací a ovládací prvky (logerry) a spouští celý roznět. Jednou roznětnicí je možné ovládat až 12 logerrů zapojených v systému pomocí datové sběrnice. Celý systém může pracovat až s 2400 rozbuškami. Maximální délka vodičů mezi rozbuškami a logerry je 2000 m, a mezi loggerem a roznětnicí je 1000 m. Na obrázku č.6 je schematické zapojení elektronického roznětu i-kon. [8,10]



Obrázek č. 7 Schematické zobrazení zapojení elektronických rozbušek (i-kon) do roznětné sítě [10]

Výhodou celého systému elektronického roznětu je práce elektronického systému pod průběžným napětím, čímž se eliminuje případná iniciace rozbušek jiným než datovým povelům. Oproti ostatním rozbuškám je další podstatnou výhodou přesnější a spolehlivější časování a rychlá možnost jeho změny (přečasování) nebo upravení zpoždění iniciace jednotlivých rozbušek. [8,10]

4. DIMENZOVÁNÍ NÁLOŽÍ PRO TRHACÍ PRÁCE

Dimenzování trhacích prací je prováděno několika možnými výpočtovými metodami, které se liší dle svých autorů. Tato rozdílnost je dána především přístupem autora k výpočtu dle prostředí, ve kterém prováděl TP nebo převládajícím typem používané trhavy. Podstatnou rolí také sehrává fakt, že metoda výpočtů byla upravena na základě realizovaných TP.

4.1. Dimenzování náloží podle Mečíř – Válek

Výpočet potřebné hmotnosti celkové nálože použité u trhacích prací vychází ze stanovení objemu výlomu a měrné spotřeby trhavy. Jsou-li k dispozici prakticky vyzkoušené hodnoty měrné spotřeby trhavy, bude výpočet přesnější a spolehlivější. V případě, že tyto údaje nejsou dostupné, využívají se tabulkované hodnoty součinitelů. Následně je účelné výpočet pokusně ověřit. Celková nálož pro jeden odstřel se vypočte ze vztahu (7). [7]

$$N_c = q_r \cdot \kappa_r \cdot F_r \cdot H_r \cdot \eta_v \quad (7)$$

Kde:

N_c – celková nálož [kg]

q_r – měrné spotřeby se trhavy [kg/m²]

F_r – hrubý výlom [m²]

H_r – Zabírka [m]

η_v – opravný součinitel

κ_r – opravný součinitel

Dále se vypočte podle vztahu (8) maximální odporová úsečka. Tato vzdálenost stanovuje maximální krajní vzdálenost nálože od volné plochy. Při překročení této hodnoty nedochází k náležitému rozpojení horninového masívu. Může dojít k nadměrné kusovitosti nebo nedojde k odtržení zabírky. [7]

$$W_{max} = \sqrt{\frac{k_m}{q_r \cdot \kappa_r}} \quad (8)$$

Kde:

W_{max} – maximální odporová úsečka [m]

k_m – měrné spotřeby se trhavy na jeden běžný metr [kg/bm]

q_r – měrné spotřeby se trhavy [kg.m⁻²]

κ_r – opravný součinitel

K určení základní měrné spotřeby trhaviny pro ražení použijeme tabulka č.4, kde pomocí znalosti plochy čelby a třídy rozpovitelnosti horniny stanovíme měrnou spotřebu trhaviny. [7]

Tabulka č. 4 Určení základní měrné spotřeby trhaviny pro ražení q_r [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], [7]

Rozpovitelnost horniny	Profil raženého díla [m^2]						
	3	4	5	6	8	10	14 a více
velmi špatná	2,9 - 3,4	2,6 - 0,3	2,3 - 2,8	2,2 - 2,6	2,0 - 2,4	1,9 - 2,2	1,7 - 2,0
špatná	2,2 - 2,5	2,0 - 2,3	1,8 - 2,1	1,7 - 1,9	1,6 - 1,8	1,5 - 1,7	1,4 - 1,6
střední	1,5 - 2,0	1,4 - 1,8	1,3 - 1,6	1,2 - 1,5	1,1 - 1,4	1,0 - 1,3	0,9 - 1,2
dobrá	0,9 - 1,3	0,8 - 1,2	0,7 - 1,1	0,6 - 1,0	0,5 - 0,9	0,5 - 0,8	0,4 - 0,7
velmi dobrá	0,7 - 0,8	0,6 - 0,7	0,5 - 0,6	0,4 - 0,5	0,3 - 0,4	0,3 - 0,4	0,25 - 0,35

Další tabulkově stanovená hodnota je opravný součinitel κ_r , který se počítá ze vztahu (9) Hodnoty do toho vztahu se dosazují z tabulek č.5 a č.6. [7]

$$\kappa_r = a \cdot b \quad (9)$$

Kde:

κ_r – opravný součinitel [-]

a – viz tabulka č. 5 [-]

b – viz tabulka č. 6 [-]

Tabulka č. 5 Součinitel struktury čelby a [7]

součinitel struktury čelby a	a =
Proplástek dobře rozpovitelné horniny, do níž je možno umístit zálom	0,7 - 0,8
Ražení po směru vrstev při drobně vrstvené hornině	0,8 - 0,9
Dobře vyvinutá odlučná plocha, na níž lze založit zálom	0,85 - 0,95
Nepravidelné vložky pevné horniny	1,1 - 1,2
Pro všechny ostatní případy	1

Tabulka č. 6 Součinitel vlastnosti horniny b [7]

Součinitel vlastností b	b =
Dobře břidličnatá, popřípadě navětralá hornina	0,7 - 0,9
Vrstevnatá hornina vrstvy do 25 cm	0,9 - 1,0
Masivní hornina, nebo hornina s balvanovitou nebo lavicovitou odlučností	1,0 - 1,1
Soudržná, houževnatá, popřípadě pórovitá hornina	1,1 - 1,2
Houževnatá značně stlačená a všestranně provrásněná hornina	1,2 - 1,4

Zabírku můžeme spočítat dle vztahu (10). Tato hodnota dále ovlivňuje celý pracovní cyklus a má vliv na dobu vrtání, nakládání, odtěžení i vyztužování, proto se musí po výpočtu ještě dodatečně zkorigovat s ostatními procesy. [7]

$$H_r = c \sqrt{\frac{F_r}{\pi}} \quad (10)$$

Kde:

H_r – Zabírka [m]

F_r – hrubý výlom [m²]

c – opravný součinitel [-]

Koeficient „ c “ pro tento vzorec (10) i hodnotu η_v volíme podle tabulky č.7. [7]

Tabulka č. 7určení součinitele c a η_v [7]

Podmínky ražení	c	η_v
Běžné ražení s jednoduchým sbíhavým zálomem, dlouhodobě časovaný roznět	0,9 - 1,1	0,8 - 0,85
Ražení s jednoduchým sbíhavým zálomem, roznět rozbuškami Der	1,1 - 1,4	0,85 - 0,90
Ražení s moderním sbíhavým zálomem s roznětem DeR, nebo ražení s přímým zálomem nebo kombinované ražení se zálomem *)	1,25 - 1,8	0,85 - 0,92
Kombinované ražení **)	1,4 - 2,0	0,88 - 0,93
Bezzáломové ražení	1,6 - 2,2	0,90 - 0,95

*) - Záломové ražení, roznět zálomu rozbuškami DeM nebo DeR, roznět přibírky rozbuškami DeD nebo DeP

**) - Vlastní kombinované ražení

Následný postup návrhu trhacích prací se řídí podle zvoleného typu zálomu.

Výpočet pro sbíhavé zálomy

Pro sbíhavé zálomy se stanoví ukazatel výtrže i podle vzorce č.11. Hloubka sbíhavých zálomů se volí o 10 až 15 cm delší, než je hodnota zabírky pro jeden cyklus. [7]

$$i = \frac{B_r}{2H_r} \quad (11)$$

Kde:

i – ukazatel výtrže

B_r – šířka zálomové dutiny [m]

H_r – zabírka [m]

Po vypočtení ukazatele výtrže vzorec (11) dopočteme hmotnost nálož pro vlastní zálom. K tomu použijeme vzorec (12). [7]

$$N_z = q_r \cdot \kappa_r \cdot H_r^3 \cdot (0,4 + 0,6i^3) \quad (12)$$

Kde:

N_z – celková hmotnost nálož v zálomových vrtech [kg]

q_r – měrné spotřeby se trhaviny [kg/m²]

H_r – Zabírka [m]

i – ukazatel výtrže

Pro ověření správnosti návrhu se rozdělí vypočtená celková hmotnost zálomové nálože (12) do zálomových vrtů a zkontroluje se, zda délky náloží v zálomových vrtech nepřesahují 40 % délky těchto vrtů. V případě, že nálože přesahují 40% délky těchto vrtů je nutné v návrhu navýšit počet zálomových vrtů. [7]

Následné rozmístění obrysových a přibírkových vrtů probíhá podle tabulky č.8

Tabulka č. 8 Zásady pro navrhování přibírkových a obrysových vrtů [7]

Zásady navrhování přibírkových a obrysových vrtů
Odpor u konce rozšiřovacích vrtů působí přímo na zálom nemá být větší než 0,9 W_{\max}
Vzdálenost rozšiřovacích vrtů mají být v mezích 0,9 až 1,1 W_{\max}
Odpory obrysových patních vrtů u počvy nemají být větší než 0,8 až 0,9 W_{\max}
vzdálenosti patních vrtů u počvy mají být 0,9 až 1,1 W_{\max}
Odpory ostatních obrysových vrtů 0,9 až 1,0 W_{\max}
Vzdálenosti ostatních obrysových vrtů mohou být v mezích 1,0 až 1,2 W_{\max}

Po navržení vrtů na čelbě se do navržených přibírkových a obrysových vrtů rozdělí zbylá trhavina z celkové vypočtené nálože s rozdílem hmotnosti zálomové nálože dle vztahu (13). [7]

$$N_o = N_c - N_z \quad (13)$$

Kde:

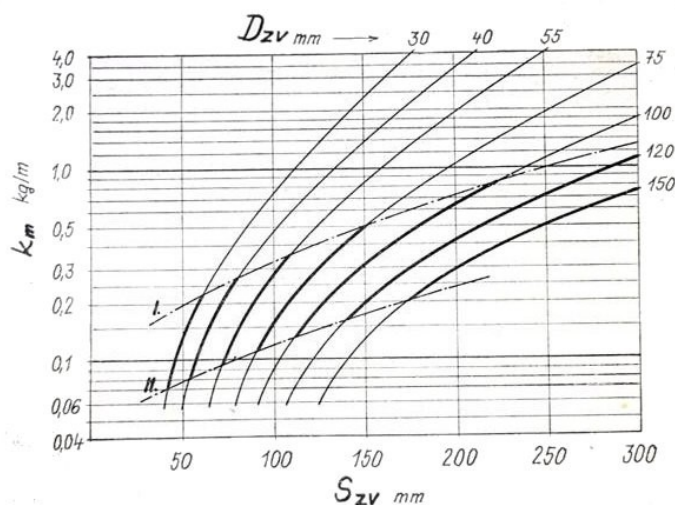
N_o – celková hmotnost náloží obrysových a přibírkových vrtů [kg]

N_z – celková hmotnost náloží v zálomových vrtech [kg]

N_c – celková nálož [kg]

Výpočet pro přímé zálomy

U přímých zálomů (např. válcový, čtvercový, kanadský) se postupuje při návrhu nálože podle digramu na obrázku č.8. Odečtem z diagramu se stanoví měrná spotřeba trhaviny z průměru nenabitého vrtu a vzdáleností prvního čtverce zálomu od osy nenabitého vrtu. Další postup je stejný jako při výpočtech náloží pro ražení se sbíhavým zálomem. [7]

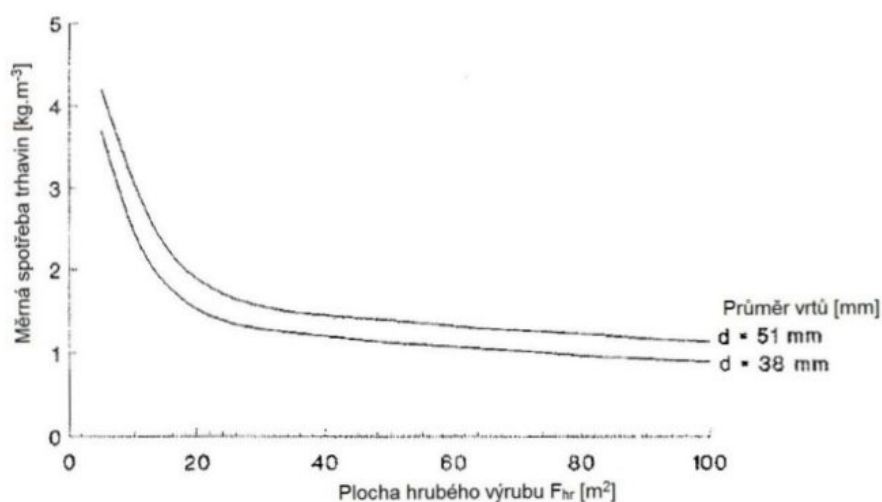


Obrázek č. 8 Langeforsův diagram pro přímé zálomy (k_m - měrná spotřeba trhaviny, D_{zv} - průměr nenabitého vrtu, S_{zv} - vzdálenost prvního čtverce zálomu od nenabitého vrtu (odporová úsečka)). [7]

4.2. Dimenzování náloží dle Olofssona

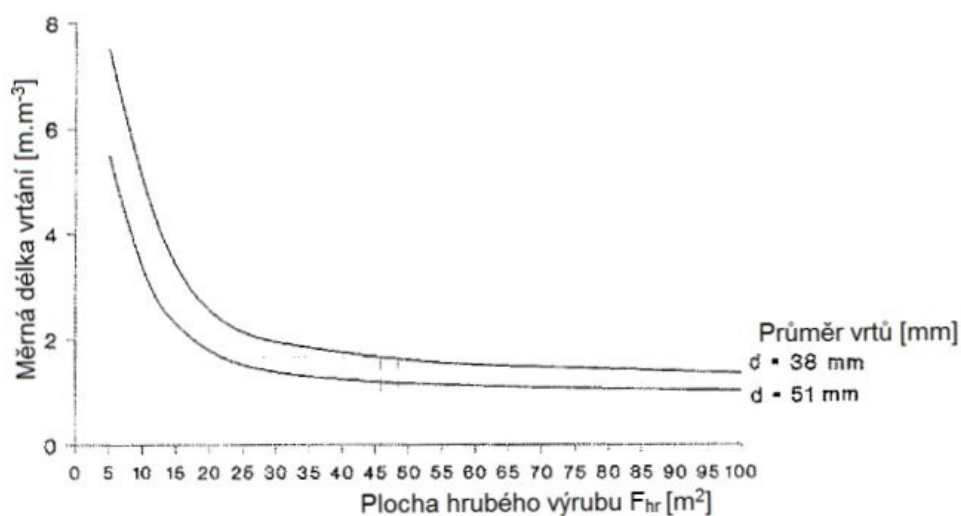
Dimenzování náloží podle Stig O. Olofsson vyplývá z dlouholetých zkušeností užívání trhacích prací v severských státech. Rozpojované horniny jsou zde velice pevné a umožňují tak velmi dlouhých zabírek s minimálním vyztužením díla. Tunelové stavby se obvykle zajišťují kombinací stříkaného betonu a svorníků. Pro trhací práce se zde častěji využívá emulzních trhavin. [9]

První stanovený parametr pro návrh je měrná spotřeba trhaviny. Měrnou spotřebu trhaviny odečteme z grafu č. 2. Měrná spotřeba trhaviny závisí na průměru vrtů a plochy čelby. [9]



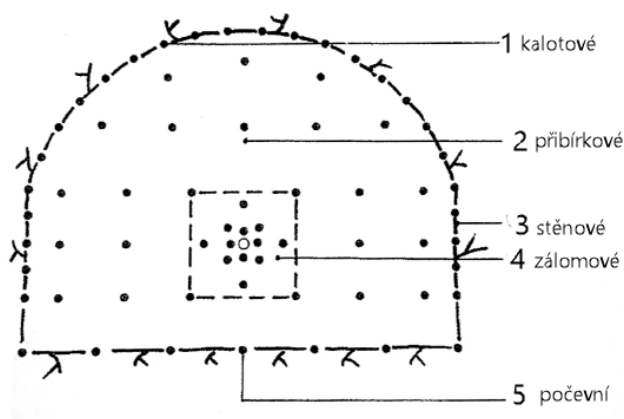
graf č. 2 hmotnosti nálože pro různé hrubého výrubu [9]

Jako druhý parametr se stanoví orientační počet vrtů pro danou čelbu. Ten se stanoví na základě odečtu z grafu č.3. Na základě těchto dvou parametrů již lze stanovit přibližný počet vrtů a přibližnou hmotnost trhaviny. [9]



graf č. 3 Měrná délka vrtů pro různé plochy hrubého výrubu [9]

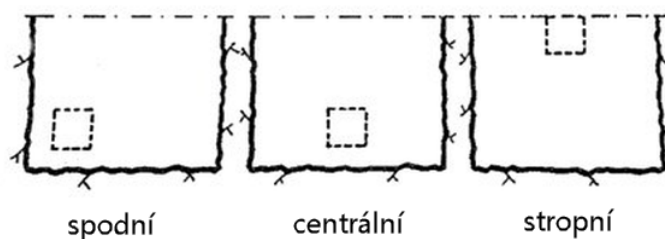
Vrty na čelbě tunelu se dále rozdělují dle polohy na čelbě na vrty zálomové, příbírkové a obrysové (počevní, kalotové, stěnové). Schéma rozmístění vrtu je znázorněno na obrázku č.9. Tak jako v předchozí uvedené metodě dimenzování nálože (metoda dle Mečír – Válek) se volí typ zálohu. Olofsson podrobně popisuje návrh zálohu kanadských, čtvercových, sbíhavých a vějířových. Každý z uvedených zálohu má lehce odlišnou metodu výpočtu. Pro příklad bude uveden návrh čtvercové zálohu s nenabitým prostředním vrtem. Ten je ve skandinávských zemích jeden z nejběžněji užívaných zálohu. [9]



Obrázek č. 9 Schéma rozmístění vrtů na výrubu. [9]

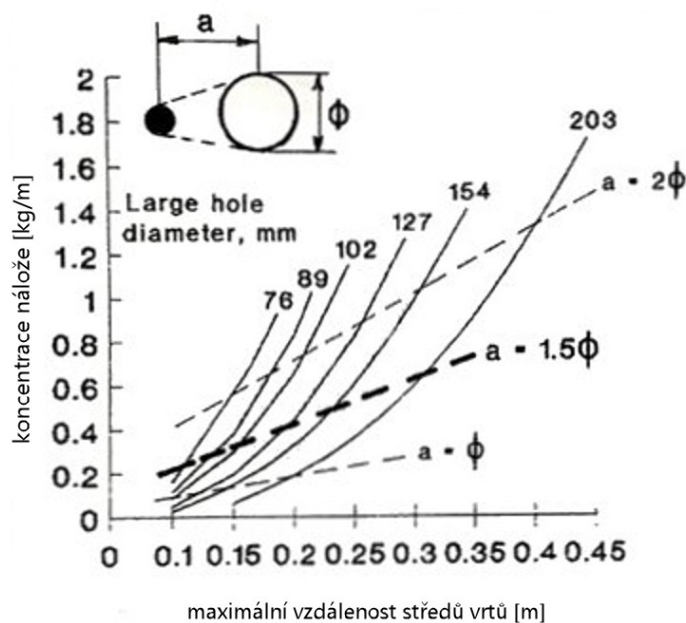
Návrh čtvercového zálomu

Jako první se určí pozice čtvercového zálomu obrázek č.10. Umístění zálomu na čelbě má vliv na odhoz, spotřebu trhaviny, vrtnou náročnost a dobu nabíjení. Počet čtverců v zálomu je limitovaný skutečností, že délka odporové úsečky v posledním čtverci nesmí přesáhnout délku odporové úsečky přibírkových vrtů pro danou koncentraci nálože ve vrtu. Tento typ zálomů má většinou rozlohu okolo 2 m². [9]



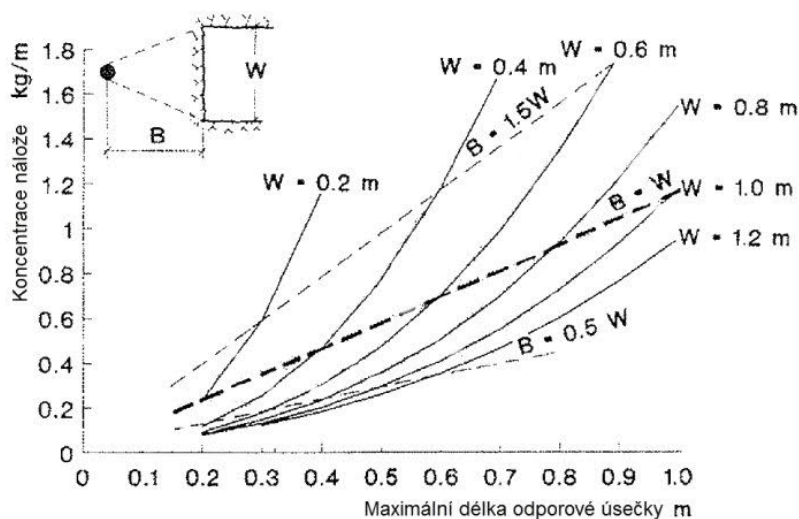
Obrázek č. 10 Možnosti pozice zálomu na výrubu. [9]

Následně se z grafu č.4 v zálomu určí vzdálenost nabitých vrtů od uvolňovacího (nenabitého) vrtu a hmotnost náloží, které se budou nabíjet do vrtů prvního čtverce zálomu. Doporučená vzdálenost mezi nabitým vrtem a uvolňovacím vrtem je 1,5 násobek průměru nenabitého uvolňovacího vrtu. V případě zvětšení této vzdálenosti dochází ke zvýšení spotřeby použité nálože. Zálomy jsou obecně lehce přebíjené z důvodů kompenzace možné chyby vzniklé nepřesným vrtáním.



graf č. 4 Stanovení koncentrace nálože pro první zálomový čtverec [9]

Dalším krokem postupu je návrh zbylých čtverců zálomu. Pomocí grafu č.5 se určí měrná spotřeba trhaviny pro zbývající čtverce. Zbylé čtverce se řídí v základu podobným pravidlem jako první čtverec zálomu. Rozdíl je, že se odporová přímka neměří od velkého uvolňovací vrtu, nýbrž od středu spojnice vedlejších vrtů v předchozím čtverci. Geometrie dalších čtverců zálomu se řídí podle vztahů uvedených v následující tabulce č.9.

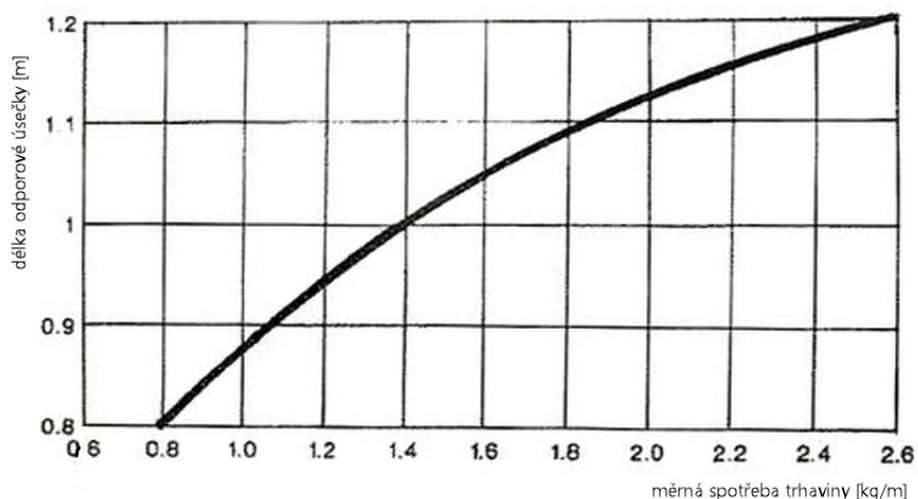


graf č. 5 Závislost koncentrace nálože a odporové přímky v závislosti na vzdálenosti sousedních vrtů v zálomu [9]

Tabulka č. 9 Vztahy mezi čtverci přímého zálohu [9]

číslo čtverce zálohu	a	W_n	B_n	C-C
	[-]	[mm]	[mm]	[mm]
1	$1,5a$ nebo $2a \cdot \emptyset$	$W_1 = a\sqrt{2}$	-	Graf č.4
2	-	$W_2 = 1,5 \cdot W_1\sqrt{2}$	$B_1 = W_1$	$1,5W_1$
3	-	$W_3 = 1,5 \cdot W_2\sqrt{2}$	$B_2 = W_2$	$1,5W_2$
4	-	$W_4 = 1,5 \cdot W_3\sqrt{2}$	$B_3 = W_3$	$1,5W_3$

Poté co jsou spočítány veškeré vrty se v zálohu stanoví délka odporové úsečky a koncentraci nálože pro zbylé vrty (obrysové, probírkové). Odporová úsečka a koncentrace nálože se určí z grafu č.6. Po určení základní délky odporové úsečky a koncentrace nálože, je možné podle vztahů v tabulce č. 10 dopočíst koncentrace a odporové úsečky pro ostatní přibírkové a obrysové vrty. [9]



graf č. 6 Závislost délky odporové úsečky na měrné spotřebě trhaviny [9]

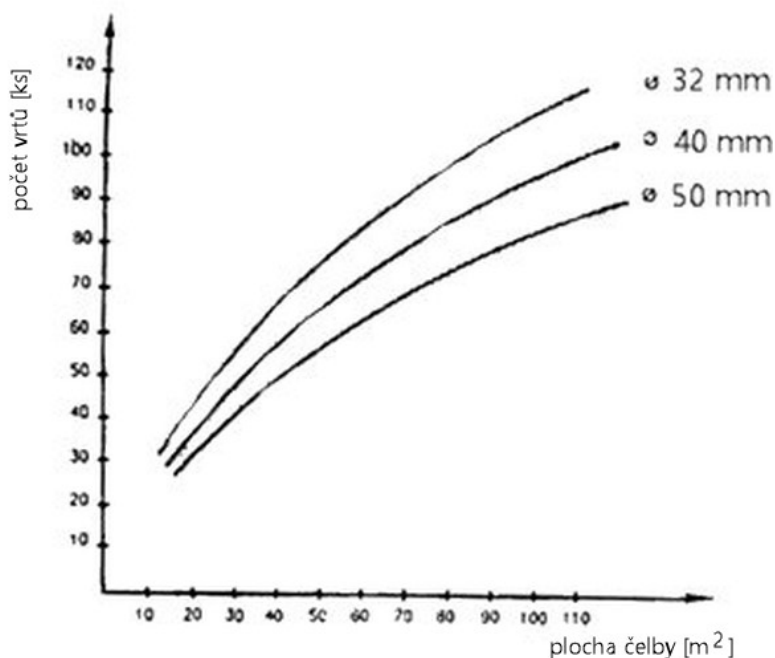
Tabulka č. 10 Vztahy k navrhování přibírkových a obrysových vrtů. [9]

Vrty		Odporová úsečka	Rozestup	Výška patní nálože	Koncentrace nálože		Ucpávka
					Patní	Sloupová	
Obrysové	počevní	1xB	1,1xB	1/3H	l_b	$1,0x l_b$	0,2xB
	stěnové	0,9XB	1,1xB	1/6H	l_b	$0,4x l_b$	0,5xB
	kalotové	0,9XB	1,1xB	1/6H	l_b	$0,3x l_b$	0,5xB
Přibírkové	horizontální	1xB	1,1xB	1/3H	l_b	$0,5x l_b$	0,5xB
	úpadní	1xB	1,2xB	1/3H	l_b	$0,5x l_b$	0,5xB

4.3. Dimenzování náloží dle Bhandariho

Dimenzování náloží pro trhací práce dle této metody využívá poznatků z více publikací.

Návrh nálože podle Bhandariho stejně jako u Olofssona vyplývá z dlouholetých zkušeností ve skandinávských zemích. Jako první se pomocí grafu č.7 stanoví počet vrtů pro trhací práce. Volba průměru vrtů záleží individuálně na střelmistrovi nebo TVO. V severských zemích bývá nejčastěji průměr vrtů od 32 mm až 38 mm, v USA zase 42 mm až 46 mm, obecně ve světě se volí mezi v intervalu 26 mm až 50 mm. [2]



graf č. 7 Závislost počtu vrtů na ploše výrubu. [2]

Jako další se stanoví typ zálomu pro danou trhací práci. Různé typy zálomu se od sebe liší návrhem rozmístění vrtů a spotřeby trhaviny. Pro příklad jsou zde uvedena pravidla stanovení rozmístění vrtů a měrné spotřeby trhaviny u čtvercového zálomu s jedním nenabitým vrtem. [2]

Pro vrty nejblíže nenabitému vrtu (nenabitý vrt má z pravidla větší průměr než ostatní vrty) platí pravidlo pro nejblíží vzdálenost odporové úsečky (14). [2]

$$V = 0,7d \quad (14)$$

Kde:

V – vzdálenost odporové úsečky [m]

d – průměr nenabitého vrtu [m]

V případě že se v zálomu realizují dva nenabitě vrty, se odporová přímka stanoví podle vztahu (15). [2]

$$V = 0,7 \cdot 2 \cdot d \quad (15)$$

Kde:

V – vzdálenost odporové úsečky [m]

d – průměr nenabitého vrtu [m]

Maximální vzdálenost V_1 , (první odporová úsečka) ve čtvercovém zálomu, nesmí přesáhnout hodnotu ($V = 1,7B$). Doporučená hodnota pro první čtverec v zálomu je $V_1 = 1,5 B$. Délka úsečky mezi dvěma sousedními vrty jednoho čtverce se vypočte podle vztahu (16). [2]

$$B = \sqrt{2V_1} \quad (16)$$

Kde:

B – vzdálenost dvou sousedních vrtů čtverce zálomu [m]

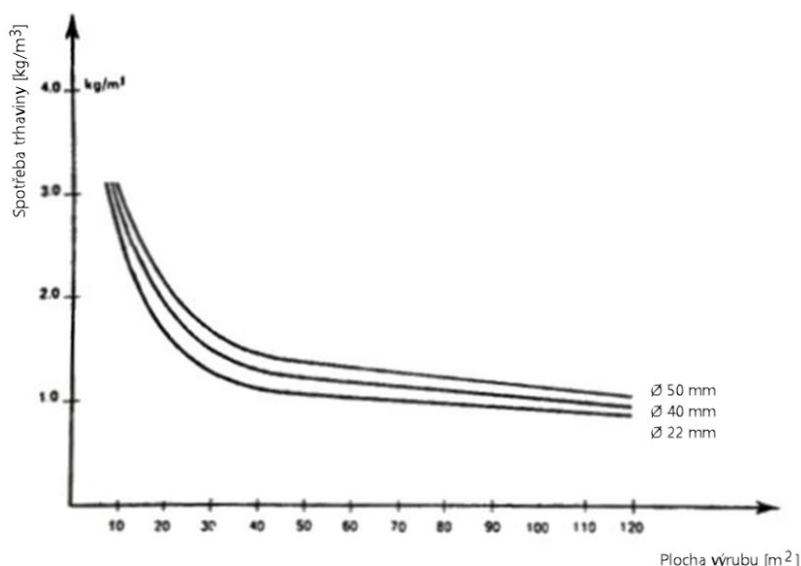
V_1 – vzdálenost vrtu od středu stran předchozího čtverce [m]

Počet čtverců zálomu se navrhuje do té doby, než celková plocha zálomu není větší nebo rovna plochy 2 m². Měrná spotřeba trhaviny ve čtvercovém zálomu se stanovuje odečtem tabulky č. 11.

Tabulka č. 11 Specifická spotřeba trhaviny v závislosti na průměru vrtů [2]

specifická spotřeba trhaviny l_b [kg/m]	0,25	0,3	0,36	0,45	0,55
průměr vrtu [mm]	32	35	38	45	48

Návrh měrné spotřeby trhaviny pro trhací práci jde orientačně určit i z grafu č.8, který znázorňuje závislost spotřeby trhaviny na krychlový metr k různým plochám výrubu a průměrů vrtů.



graf č. 8 Specifická spotřeba trhavin v závislosti na ploše raženého profilu a průměru vrtů. [2]

Návrh celkové spotřeby trhaviny a rozvržení obrysových a přibírkových vrtů na čelbě se odvíjí od stanovení měrné spotřeby trhaviny na jeden běžný metr vrtu. Podobně jako je tomu u návrhu dle metody Olofsson, tak i zde platí určité postupy a vztahy pro návrh spotřeby trhaviny a rozmístění vrtů na výrubu. To znamená, že po určení základní délky odporové úsečky a koncentrace nálože, je možné podle vztahů v tabulce č. 12 odečíst koncentrace a odporové úsečky pro ostatní přibírkové a obrysové vrty. Jako první se počítá odporová úsečka podle vztahu (17). [2]

$$B = \frac{H_r - 0,4}{2} \quad (17)$$

Kde:

B – odporová úsečka [m]

H_r – délka zabírky [m]

Tabulka č. 12 Vztahy k navrhování přibírkových a obrysových vrtů. [2]

Vrty		Odporová úsečka	Rozestup	Výška patní nálože	Koncentrace nálože (l_b)	
					Patní	Sloupová
Obrysové	počevní	1,0xB	1,1xB	1/3H	l_b	1,0x l_b
	stěnové	1,0XB	1,2xB	1/6H	l_b	0,4x l_b
	kalotové	1,0XB	1,2xB	1/6H	l_b	0,4x l_b
Přibírkové	horizontální	1,1xB	1,1xB	1/3H	l_b	1,0x l_b
	úpadní	1,1xB	1,2xB	1/3H	l_b	1,0x l_b

Měrná koncentrace náloží v jednotlivých vrtech se určuje z tabulky č.13. která uvádí vztah měrné koncentrace trhaviny k průměru vrtů. [2]

Tabulka č. 13 Měrná spotřeba trhavin závislá na průměru vrtů [2]

vrty	průměr vrtu	měrná koncentrace trhaviny l_b
	[mm]	[kg/m]
Patní Horizontální	30	1,1
	40	1,3
	50	1,5
Úpadní Stěnové Kalotní	30	1
	40	1,2
	50	1,4

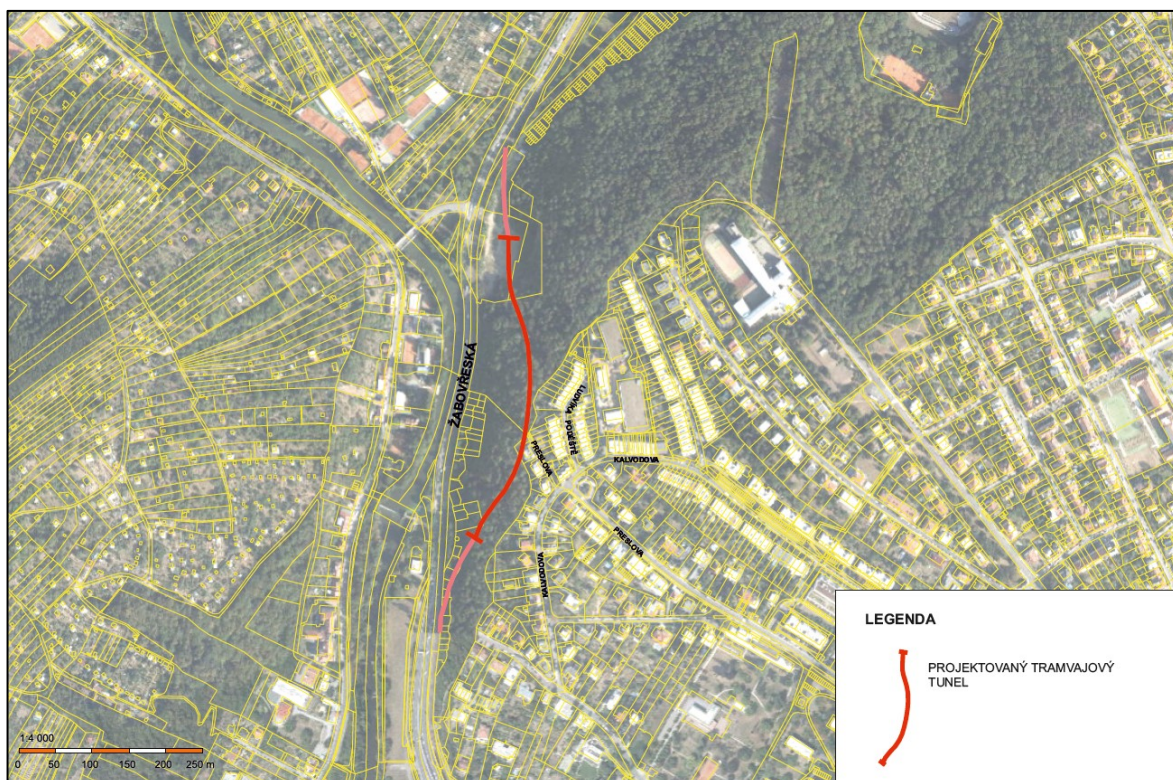
5. NÁVRH TRHACÍCH PRACÍ PRO PLÁNOVANOU VÝSTAVBU TRAMVAJOVÉHO TUNELU

Město Brno v rámci výstavby Velkého městského okruhu Brno Žabovřeská I projektuje ve Fázi I vybudování tramvajového tunelu v celkové délce 520 m, z čehož ražená délka úseků bude mít 370 m, zbytek metráže bude realizován přesypem. Při ražbě tramvajového tunelu se předpokládá ražba za pomoci trhacích prací. Pro projektovaný investiční záměr byl firmou GEOTest Brno, a.s. realizován podrobný inženýrskogeologický průzkum pro tramvajový tunel. Pro potřebu Diplomové práce byla k dispozici Závěrečná zpráva provedeného inženýrskogeologického průzkumu. Pro vlastní návrh trhacích prací, byly z uvedené Závěrečné zprávy [4] použity v ní uvedené informace jako vstupní parametry.

5.1. Popis lokality

Projektovaná stavba se nachází v Brně, v městské části Žabovřesky. Plánovaná tunelová část zaujímá širší východní svah svrateckého údolí mezi Pisáreckou a Žabovřeskou kotlinou, jedná se o západní okraj Wilsonova lesa. Celková délka tunelové části činí dle projektu 520 m. Úsek ražené části tunelu má délku 370 m. Použití trhacích prací při ražení bude navrženo pouze pro nejtvrdší zastiženou třídu horniny. Zbylých 150 m trasy (cca 135 m severního portálu a cca 15 m u portálu jižního), budou budovány jako hloubené a následně přesypávané konstrukce.

V blízkém okolí plánovaného tunelu se nachází zástavba rodinných domů. Většina domů má dvě nadzemní podlaží a jsou podsklepené. Domy jsou nejčastěji cihlové, u většiny domů je plochá lepenková nebo kovová střecha. Valbové střechy ani jim podobné typy se v okolí nenachází. Vyšší stavby se blízkém okolí nevyskytují. Bližší situace pozice staveb vůči projektované trase tunelu viz obrázek. č 12.



Obrázek č. 11 Přehledná situace, měřítko 1:4 000



Obrázek č. 12 Detail pozice navrhovaného tramvajového tunelu k nejbližší zástavbě

Nejbližší stavby vzhledem k tunelové části ražené trhací technikou jsou rodinné domy na ulici Preslova, obrázek č.13 vzdálené od 50 m do 60 m od projektované tunelové trouby. Vzdálenější jsou potom řadové rodinné domy na ulici Ludvíka Poděště obrázek č. 14, ve vzdálenosti od 60 do 100. Dále se jedná o skupinu domů na ulici Kalvodova obrázek č. 15, ve vzdálenosti od 70 do 100 m. Stavby jsou připojeny na kanalizační systém a plynové potrubí, je zde možný výskyt elektrických kabelů.



Obrázek č. 13 Ulice Preslova, pohled k severozápadu



Obrázek č. 14 Ulice Ludvíka Poděště, pohled k severu

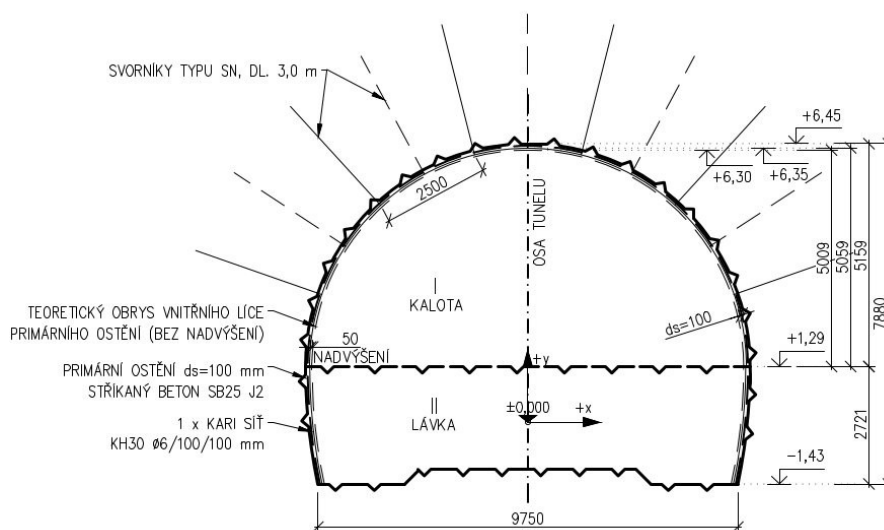


Obrázek č. 15 Ulice Kalvadova, pohled k jihozápadu

5.2. Specifikace výrubu

Trhací práce byly navrženy pro části tunelu, u kterých bude zastižena hornina typu R2 a R3. Více k typům zastižených hornin v kapitole 5.3. Odpovídající hloubka tunelu bude průměrně cca 50 až 60 m pod terénem. Tvar hrubého výrubu tramvajového tunelu je atypický (podkovovitý) viz obrázek č. 16.

PŘÍČNÝ ŘEZ



Obrázek č. 16 Příčný řez projektovaným tramvajovým tunelem s vystrojením. [4]

Plocha hrubého výrubu je přibližně $70,25\text{m}^2$, závisí od plánované třídy vystrojení. Primární ostění dle návrhu bylo vypracováno ve třech variantách v závislosti na kvalitě horninového prostředí. Plocha hrubého výrubu ($70,25\text{ m}^2$) vyhovuje všem navrženým variantám z ohledu prostoru pro technologie vyztužování. Všechny varianty tunelového ostění mají společné rysy. Skládají se z kombinace vyztužením pomocí stříkaného betonu, KARI sítě, v kombinaci se svorníky typu SN různých délek. Vyztužení pomocí uvedené technologie je typické v severských zemích (tvrdá hornina).

5.3. Vlastnosti a složení horninového prostředí

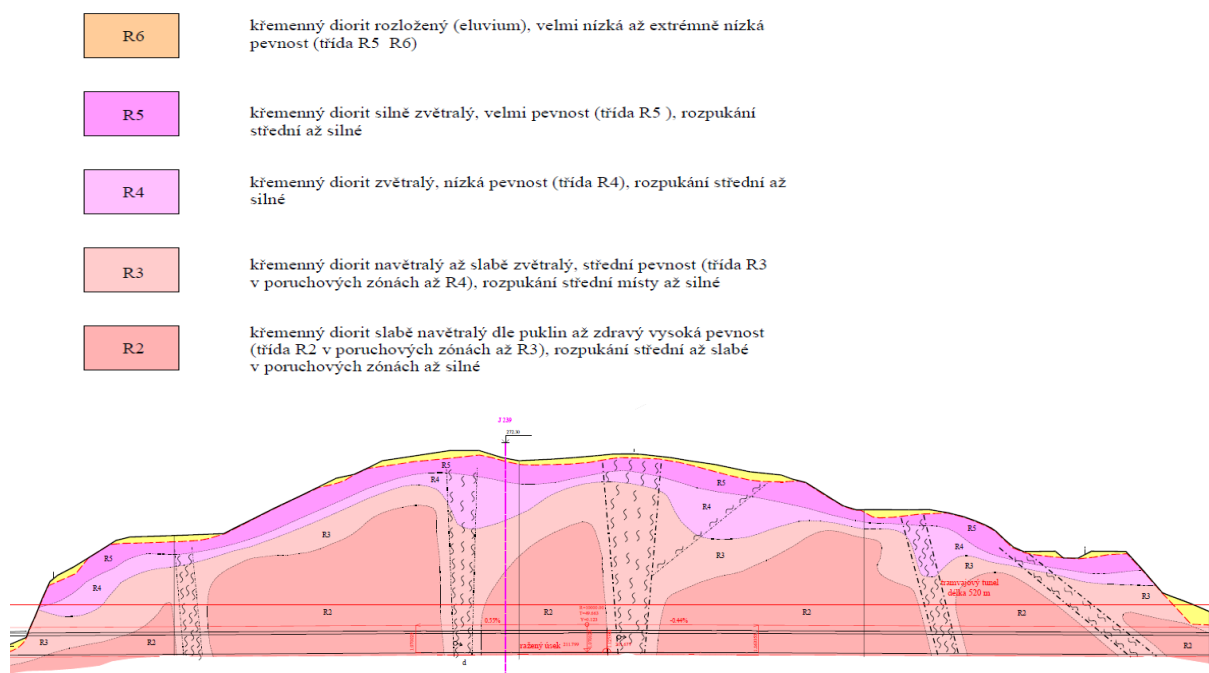
Zájmové území se skládá z hornin Brněnského masívu. Dle rajonizace se jedná o centrální část metabazitové zóny, v níž vystupuje rozsáhlá křemenný dioritem s doprovodem žilných i pórovitých hornin. Výše ve svahu ve vzdálenosti 100 – 150 m od

trasy tunelu probíhá styk křemenných dioritů s metadiabasy. Oblast spodní části svahu je budována převážně křemennými diority s žilkama křemene a má tektonické porušení nižší intenzity.

Kvartérní pokryv v oblasti svahu tvoří nespojitě vyvinutá souvrství suťových (deluviálních) sedimentů. V oblastech portálů jsou vyvinuty suťové kužely, které mohou být jak přirozeného původu, tak i pozůstatky po lomové činnosti, která zde probíhala v minulosti.

Hydrogeologické poměry charakterizuje průlinová propustnost ve zcela zvětralých oblastech horninového masívu. V hlubších polohách zájmové oblasti je propustnost puklinová. Vydatnost puklinových zvodní lze očekávat pouze ve velmi malé intenzitě (sevření puklin v masívu).

Navržená tunelová trasa je situována do masívu tvořeného převážně křemenným dioritem. Rozpukání masívu má proměnlivou intenzitu s poměrně značným rozptylem směrových i sklonových parametrů puklin. Celá tunelová trasa byla rozčleněna na rajony charakterizovanými jednotlivými geotechnickými typy (R6 – R2), toto členění vyšlo především z pevnosti hornin (Tab. 14). zastoupení jednotlivých rajónů je patrné z obrázku č. 17. Přesná metráž geotechnických typů je popsána v tabulce č. 14, ze které je patrné, že tunel vede z převážné části v horninách typu R2 a R3.



Obrázek č. 17 Ilustrační podélný řez plánovanou trasou tramvajového tunelu Brno (bez měřítka) [4]

Tabulka č. 14 Zastoupení jednotlivých rajonů geotechnických typů [4]

úsek tramvajové trasy (tunelová část)	R2	R3	poruchové pásmo	poznámka
od – do /km/	délka /m/	délka /m/	délka /m/	
0,955 - 0,960		5		
0,960 – 0,992	16	16		
0,992 – 1,000	8			
1,000 – 1,012			12	charakter horniny R3
1,012 – 1,079	67			
1,079 - 1,090			11	charakter horniny R3
1,090 - 1,125	35			
1,125 - 1,140			15	charakter horniny R3-R4
1,140 - 1,219	79			
1,219 - 1,230			11	charakter horniny R3-R4
1,230 - 1,274	44			
1,274 - 1,288			14	charakter horniny R3-R4
1,288 - 1,319	15	16		
1,319 - 1,325		6		
Celkem	264	43	63	
% zastoupení v ražené trase	71	12	17	

V zájmové oblasti bylo provedeno v rámci podrobného inženýrskogeologického průzkumu celkem 12 jádrových vrtů o úhrnné metráži 168,9 m. Nejvýznamnějšími vrtů pro návrh trhačích prací byly realizovány v osách tunelu, vrt J239 (70 m) a horizontální vrt J240 (35 m). Z odebraných vzorků hornin z vrtů byly zhotovitelem průzkumu horniny zaříděny do jednotlivých geotechnických typů. Dále byly na odebraných vzorcích stanoveny charakteristické parametry viz tabulka č. 15.

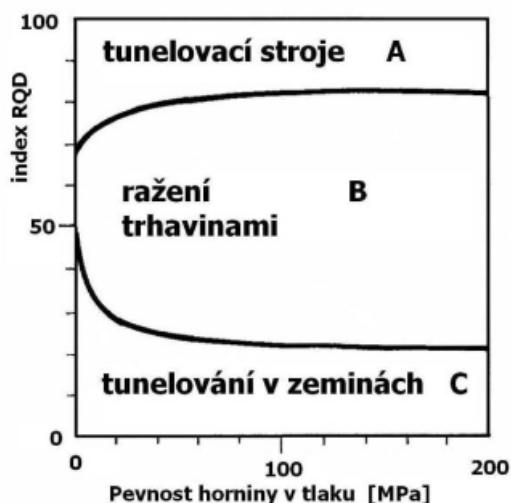
Tabulka č. 15 Základní geotechnické charakteristiky hornin [4]

G-typy	Geotechnické charakteristiky		
	objemová tíha γ	Pevnost horniny v prostém tlaku po nasycení σ_c	Modul přetvárnosti masívu E_{def}
	[kNm ⁻³]	[MPa]	[MPa]
R3	26	34	1 871
R2	26,5	81	16 500

Pro popis kvality horninového prostředí a určení způsobu rozpojování horniny, byla u vrtu J239 v předpokládané hloubce ražby tunelu stanovena hodnota indexu RQD (Rock Quality Designation). Tento klasifikační systém rozděluje horninu do 5 skupin viz tabulka č. 16. Porovnáním vypočtené hodnoty RQD a pevnosti horniny tlaku určíme způsob rozpojování hornin, (Obr. 18). V závěrečné zprávě [4] byl stanoven index RQD horniny zastižené ve vrtu J239. Kvalita masívu podle index RQD je pro horninu v plánované hloubce tunelu stanovena jako střední (50 až 75 index RQD). Z výsledků zařídění a pevnosti horniny je metoda ražení pomocí trhačích práce vyhovující.

Tabulka č. 16 Zařídění kvality horniny na základě RQD [4]

Kvalita masívu	Index RQD
výborná	100 až 90
dobrá	90 až 75
střední	75 až 50
nízká	50 až 25
velmi nízká	25 až 0



Obrázek č. 18 Rozdělení metod ražení v závislosti na indexu RQD [6]

5.4. Nežádoucí účinky trhací práce

Důležitou součástí návrhu trhacích prací je i ochrana okolních objektů před vlivem seismických účinků od výbuchu nálože. U objektů v zájmové oblasti je nutné provést pasportizaci dotčených objektů dle ČSN 73 0040 a z důvodů ochrany objektů stanovit maximální přípustnou hmotnost nálože na jeden časový stupeň. Dle těchto parametrů můžeme dále zpracovat mapový podklad předpokládaných izoseist v závislosti na raženém dílu. V tabulce č. 17 je uveden výčet budov v zájmové oblasti a jejich zařazení pro stanovení maximálního kmitání pro stupeň poškození „0“ což znamená, že na okolních stavbách a inženýrských sítí nevznikne žádné viditelné poškození a funkce objektů zůstane nezměněná.

Tabulka č. 17 Soupis objektů v okolí stavby a jejich zařazení dle ČSN 73 0040

Objekt	Vzdálenost objektu	Třída odolnosti	Druh základové půdy	Konstanta přenosového prostředí, (k)	rychlost kmitání [mm/s] pro obor frekvence otřesu (f)		
	[m]	[-]	[-]	[-]	f < 10Hz	10 - 50 Hz	f < 50 Hz
Rodinný dům (u. Preslova)	50	B	b	200	6	10	15
Rodinný dům (ulice Ludvíka Poděště)	60	B	b	200	6	10	15

Objekt	Vzdálenost objektu	Třída odolnosti	Druh základové půdy	Konstanta přenosového prostředí, (k)	rychlost kmitání [mm.s ⁻¹] pro obor frekvence otřesu (f)		
	[m]	[-]	[-]	[-]	f < 10Hz	10 - 50 Hz	f < 50 Hz
Rodinný dům (u. Kalvodova)	85	B	b	200	6	10	15
Plynovod	50	F	b	200	20	40	60
Vodovod, kanalizace	50	D	b	200	15	25	40
Elektrické kabely	50	E	b	200	20	40	60

Výpočet maximální hmotnosti nálože pro jeden časový stupeň, ze kterého potom vychází časování roznětu u TP byl stanoven na základě tabulky č. 14. Nejvíce ohrožené jsou rodinné domy na ulici Preslova. Navrhovaná trasa tunelu se razí přímo pod těmito objekty vzdálenost mezi tunelovou troubou a základy je cca 50 m. Při předpokladu velikosti frekvence kmitání okolo 50 Hz, je mezní hodnota rychlosti kmitání pro domy 10 mm.s⁻¹. Výpočet nálože lze jsem odvodil ze vzorce (4)

$$m_n = \left(\frac{V_p \cdot L}{k} \right)^2 \quad (18)$$

$$m_n = \left(\frac{10 \cdot 50}{200} \right)^2$$

$$m_n = 6,25 \text{ kg}$$

Kde:

m_n – ekvivalentní hmotnost nálože [kg]

V_p – přípustná rychlost kmitání [mm.s⁻¹]

L – vzdálenost od těžiště odstřelu [m]

k – konstanta přenosového prostředí

To znamená, že při délečasovém roznětu (rozdíl mezi časovými stupni je větší nebo roven 250 ms) může být ve vrtech při jednom časovém stupni odpáleno maximálně 6,25 kg trhavin. Výpočet vzdálenosti izoseist pro nižší rychlosti kmitání $V_p = 5 \text{ mm.s}^{-1}$ a pro stejnou hmotnost nálože v jednom časovém stupni jsem vypočítal podle vzorce (4). Výsledné vzdálenosti izoseist jsou schematicky znázorněny na obrázku č. 19

$$L = k \cdot \frac{\sqrt{m_n}}{V_p} \quad (4)$$

$$L_{10} = 200 \cdot \frac{\sqrt{6,25}}{10}$$

$$L_{10} = 50 \text{ m}$$

$$L_5 = 200 \cdot \frac{\sqrt{6,25}}{5}$$

$$L_5 = 100 \text{ m}$$

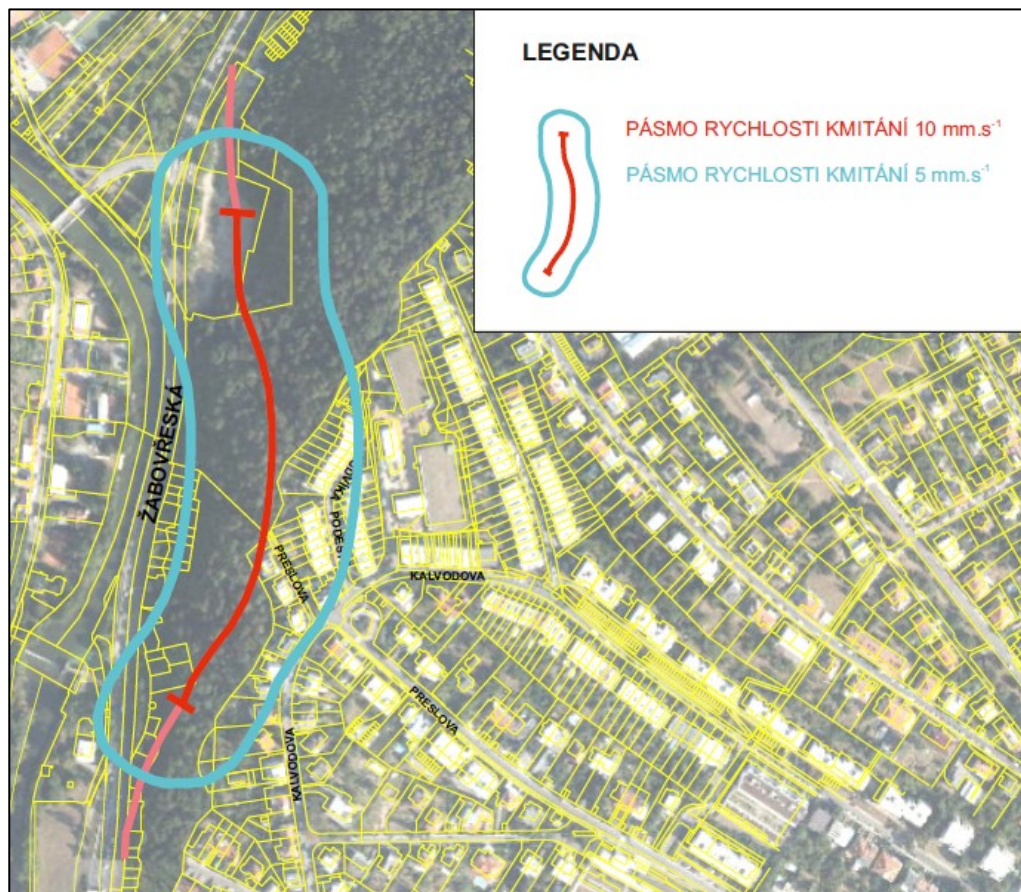
Kde:

L – vzdálenost od těžiště odstřelu [m]

V_p – přípustná rychlost kmitání [mm/s^2]

m_n – ekvivalentní hmotnost nálože [kg]

k – konstanta přenosového prostředí



Obrázek č. 19 Detail schéma navržených izoseist pro rychlosti kmitání 10, 5 mm.s⁻¹

Vzhledem k faktu, že se jedná o trhačí práce v podzemí, není třeba počítat s tlakovými a akustickými účinky na okolní objekty. Pro objekty, které leží v pásmu

rychlosti kmitání s hodnotou nad 5 mm.s^{-1} je nutné vypracovat pasportizaci a informovat majitele objektu o odstřelu, popřípadě zajisti seizmický monitoring dotčených objektů.

5.5. Návrh trhacích prací

Návrh trhacích prací je počítán pro emulzní trhavinu Kemmitti 810 a pro plastickou trhavinu Perunit E. K roznětu pro všechny metody byl použit elektrický roznět s rozbuškami typu DeD časovaných po 250 ms. Spolehlivost elektrického roznětu je spočítána v kapitole č. 5.6. Všechny metody počítají s čtvercovým zálohem s jedním nenabitým uvolňovacím vrtem.

5.5.1. Výpočet nálože podle Mečíře – Válka

Výpočet nálože pro emulzní trhavinu Kemmitti 810

Použitá trhavina Kemmitti 810 je dvousložková emulzní trhavina, která je mísená a přímo na místě čelby. Je aplikovaná pomocí emulzního vozu a tyčí vháněna do vrtu. Průměr vrtů je 38 mm a emulze zaplňuje celý jeho objem. Pro iniciaci potřebuje tato emulze takzvaný booster. Jedná se o silnější počinovou nálož, která je zažehnuta pomocí rozbušky. Tento booster značky Forprime se bude nabíjet do paty každého vrtu. Dodává se formou plastických válečků o délce 150 mm a průměru 15 mm. Hmotnost jednoho válečku je 0,038 kg.

Plocha rozpojované čelby je 70,25 m a délka zabírky jednoho cyklu bude $H_r = 1 \text{ m}$ horninové prostředí je klasifikováno jako špatně rozpojitelné. Ze vztahů v tabulce č.4 se stanovil pomocí parametrů plochy čelby a rozpojitelnosti hornového prostředí měrná spotřeba trhaviny $q_r = 1,4 \text{ kg/m}^3$. U této trhaviny byl zvolen přímý zálohm s nenabitým uvolňovacím vrtem průměru 150 mm. Ostatní vrty na čelbě budou průměru 38 mm. Z obrázku č.8 byla stanovena měrná koncentrace trhaviny pro zálohm $k_m = 0,3 \text{ kg}$ na metr vrtu a maximální vzdálenost nabitého a nenabitého vrtu $S_{zv} = 200 \text{ mm}$. Dále byla ověřena délka maximální možné odporové úsečky v zálohm vzorce (8) při $k_m = 0,3 \text{ kg/bm}$, $q_r = 1,4 \text{ kg.m}^{-3}$ a $\kappa = 0,85$.

$$W_{max} = \sqrt{\frac{0,3}{1,4 \cdot 0,85}} = 0,502 \text{ m} \quad (8)$$

Dále byla spočtena celková hmotnost nálože pro jeden záběr dle vzorce (7).

$$N_c = 1,4 \cdot 70,25 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 0,9 = 75,23 \text{ kg} \quad (7)$$

Následně byla proveden výpočet odporové úsečky pro přibírkové a obrysové vrty. U přibírkových a obrysových vrtů je měrná hmotnost trhaviny $k_m = 1,41 \text{ kg/bm}$ (hodnota vyplývá z balení trhaviny a průměru vrtu). Velikost odporové úsečky jsem spočetl dle vzorce (8)

$$W_{max} = \sqrt{\frac{1,41}{1,4 \cdot 0,85}} = 1,09 \text{ m} \quad (8)$$

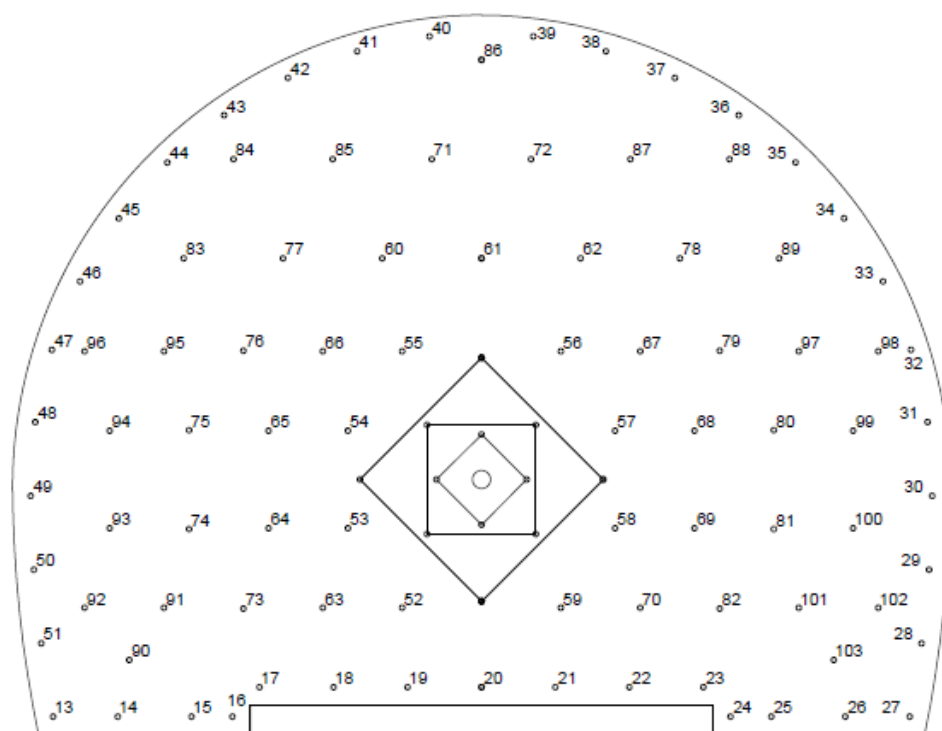
Poté byla odečtena hmotnost zálohy nálože od celkové hmotnosti náloži. Při navrhování vrtného schématu jsem postupoval dle tabulky č.8

$$N_c - N_z = N_o \quad (13)$$

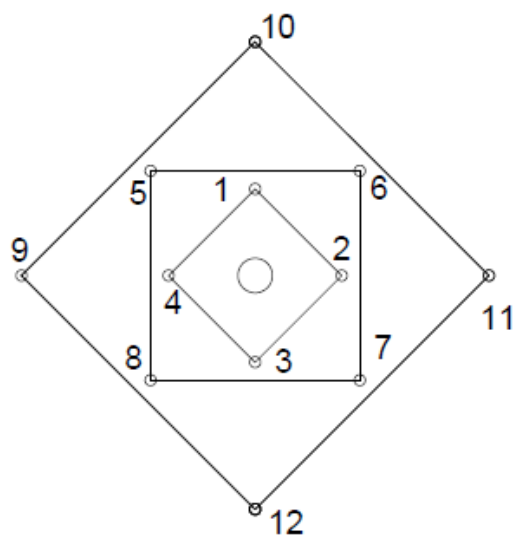
$$75,23 - 3,84 \Rightarrow N_o = 71,39 \text{ [kg]}$$

Měrná spotřeba trhaviny pro obrysové a přibírkové vrty je $0,78 \text{ kg/bm}$ vrtu (počet vrtů/ N_o). Nabíjená trhavina bude na místě čelby mísená na měrnou spotřebu 1 kg/bm vrtu, s hustotou trhaviny $1,25 \text{ kg.dm}^{-3}$.

Vzhledem k nárokům na seizmické zatížení okolních budov je elektrický roznět časován na několik stupňů odstupňovaných po 250 ms. Konkrétní časování a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v pasportu trhacích prací, obrázek č. 20. a 21 a tabulky č. 18, 19.



Obrázek č. 20 Vrtné schéma, metoda návrhu nálože dle Mečír – Válek



Obrázek č. 21 Vrtné schéma – detail zálomu, Mečír – Válek

Tabulka č. 18 Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle Mečíře – Válka, Kmmitti 810

1.	Profil díla		Podkovovitý (specifický)
2.	Hrubý profil = F_{hr}	m ²	70,25
3.	Výlom	m ³	70,25
4.	Typ zálomu		Čtvercový zálom
5.	Zabírka	m	1,00
6.	Počet vývrtů		103
7.	Průměr vývrtů	mm	38
8.	Celková délka všech vývrtů	m	103
9.	Typ trhaviny, booster		Kemmitti, Forprim
10.	Celková hmotnost trhaviny	kg	76,64
11.	Celková hmotnost boosteru		4,46
12.	Typ rozbušek		DeD, III, TIME*Star 250
13.	Celkový počet rozbušek	ks	103
14.	Ucpávka		-
15.	Typ roznětu, roznětnice, ohmmetr		Elek., Schafflrer 992, DO 200/2000
16.	Zapojení při elektrickém roznětu		Sérioparalelní
17.	Manipulační a bezpečnostní okruh	m	250,00

Tabulka č. 19 Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Mečíře – Válka, Kmmitti 810

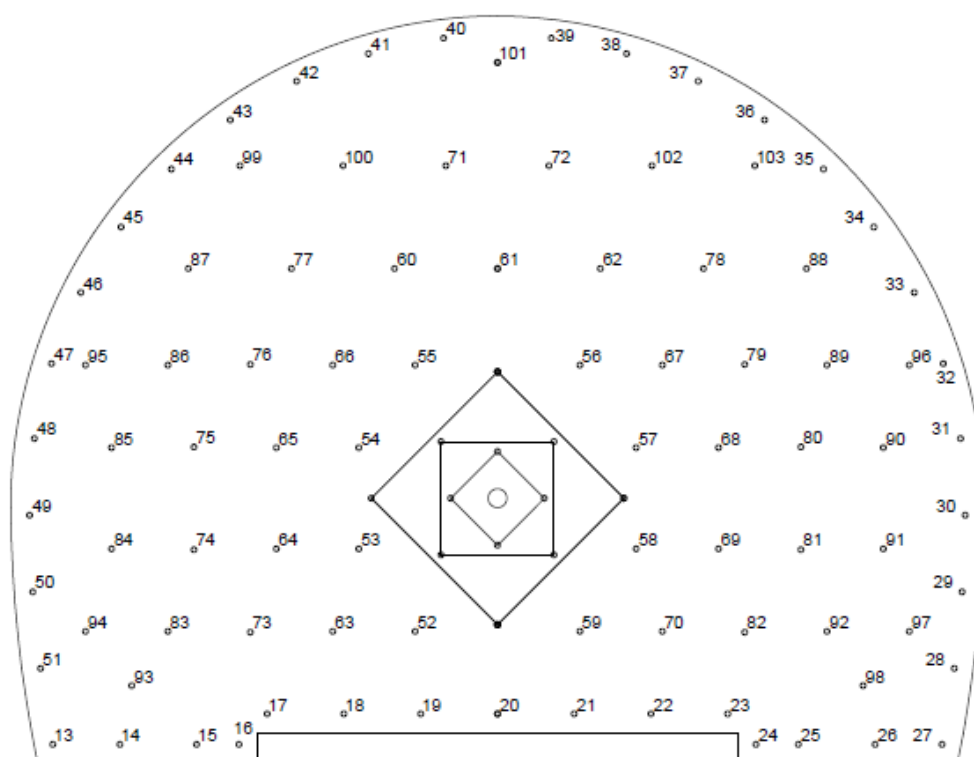
Číslo vývrtu	Průměr vývrtu [mm]	Délka vývrtu [m]	Úhel k čelbě [°]	Trhavina + Booster	Rozbušky	Průměr nálože [mm]	Hmotnost trhaviny [kg/vrt]	Časový stupeň	Druh vrtu
1-4	38	1	90	Kemmitti + Forprime	DeD, III, TIME*Star 250	38	0,32	1°	zálom
5-8							0,32	2°	zálom
9-12							0,32	3°	zálom
13-16							0,8	15°	patní
17-23								16°	patní
24-27								17°	patní
28-34								18°	patní
35-39								19°	obrysový
40-44								20°	obrysový
45-51								21°	obrysový
52-55								4°	rozšiřovací
55-59								5°	rozšiřovací
60-62								6°	rozšiřovací

Číslo vřvtu	Průměr vřvtu [mm]	Délka vřvtu [m]	Úhel k čelbě [°]	Trhavina + Booster	Rozbušky	Průměr nálože [mm]	Hmotnost trhaviny [kg/vrt]	Časový stupeň	Druh vřtu
63-66	38	1	90	Kemmitti + Forprime	DeD, III, TIME*Star 250	38	0,8	7°	rozšiřovací
67-70								8°	rozšiřovací
71,72								9°	rozšiřovací
73-77								10°	rozšiřovací
78-82								11°	rozšiřovací
83-89								12°	rozšiřovací
90-96								13°	rozšiřovací
97-103								14°	rozšiřovací

Výpočet nálože pro plastickou trhavinu Perunit E

Pro návrh spotřeby trhaviny zůstávají parametry díla stejné jako u předchozí trhaviny. Perunit E se dodává ve formě válečku různých velikostí a váhy například 28/200 a 38/500 (průměr/hmotnost). Rozmístění vřtů na čelbě zůstává jako u předchozí trhaviny. Odporová úsečka se změní jen nepatrně vzorec (8) $W_{\max} = 1,11$ m. Jelikož není možné dávkovat do vřtů trhavinu přesně vzniká nám větší spotřeba. Do zálomu se budou nabíjet menší válečky trhavina a bude vřtán průměrem 38 mm. Zbylé vřty (obrysové, přibírkové) se budou vřtat průměrem 45 mm a budou nabíjeny válečkem většího průměru. Měrná spotřeba trhaviny pro zálom bude dle vzorce (7) $N_z = 4,8$ Kg. Zbylé nálože mají hmotnost $N_o = 91$ kg. Celková spotřeba $N_c = 95,8$ kg.

Vzhledem k nárokům na seizmické zatížení okolních budov je elektrický roznět časován na několik stupňů odstupňovaných po 250 ms. Konkrétní časování a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v pasportu trhavých prací. Obrázek č. 22.a tabulky č. 20, 21.



Obrázek č. 22 Vrtné schéma, metoda návrhu nálože dle Mečír – Válek

Tabulka č. 20 Pasport trhavích prací – souhrn technologie, nálož podle Mečíře – Válka, Perunit E

1.	Profil díla		Podkovovitý (specifický)
2.	Hrubý profil = F_{hr}	m ²	70,25
3.	Výlom	m ³	70,25
4.	Typ zálomu		Čtvercový zálom
5.	Zabírka	m	1,00
6.	Počet vývrtů		103
7.	Průměr vývrtů	mm	38, 45
8.	Celková délka všech vývrtů	m	103
9.	Typ trhaviny		Perunit E
10.	Celková hmotnost trhaviny	kg	95,8
11.	Typ rozbušek		DeD, III, TIME*Star 250
12.	Celkový počet rozbušek	ks	103
13.	Ucpávka		Vodní
14.	Typ roznětu, roznětnice, ohmmetr		Elek., Schafflrer 992, DO 200/2000
15.	Zapojení při elektrickém roznětu		Sérioparalelní
16.	Manipulační a bezpečnostní okruh	m	250,00

Tabulka č. 21 Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Mečíře – Válka, Perunit E

Číslo vřvtu	Průmř vřvtu [mm]	Dřlka vřvtu [m]	řhel k řelbř [°]	Trhavina	Rozbuřky	Průmř nřloře [mm]	Hmotnost trhaviny [kg/vřt]	řasovř stupeň	Druh vřtu
1-4	38	1,0	90	Perunit E	DeD, III, TIME*Star 250	28	0,4	1°	zřlom
5-8	38					28	0,4	2°	zřlom
9-12	38					28	0,4	3°	zřlom
13-17	45					38	1,0	19°	patnř
18-22	45					38		20°	patnř
23-27								21°	patnř
27-32								22°	patnř
33-37								23°	obrysovř
38-41								24°	obrysovř
42-46								25°	obrysovř
47-51								4°	rozřřřovacř
52-55								5°	rozřřřovacř
56-59								6°	rozřřřovacř
60-62								7°	rozřřřovacř
63-66								8°	rozřřřovacř
67-70								9°	rozřřřovacř
71,72								10°	rozřřřovacř
73-77								11°	rozřřřovacř
78-82								12°	rozřřřovacř
83-87								13°	rozřřřovacř
88-92								14°	rozřřřovacř
87-89								15°	rozřřřovacř
93-95								16°	rozřřřovacř
96-98								17°	rozřřřovacř
99-103								18°	rozřřřovacř

5.5.2. Výpočet nálože podle Olofssona

Výpočet nálože pro emulzní trhavinu Kemmitti 810

Při použití trhaviny Kemmitti 810 byl zvolen přímý čtvercový zálom. Zabírka byla zvolena o délce 1 m. V případě potřeby je možné zabírku ve čtvercovém zálomu prodloužit. Jako první byla z grafu č.2 určena měrná spotřeba trhaviny potřebná pro rozpojení masívu. Tato hodnota je orientační. Měrná spotřeba trhaviny je $q_k = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$. Následně byla dle zvoleného průměru nabíjených vrtů (38 mm) stanoven odečtem z grafu č.3 specifický počet vrtů na jeden krychlový metr. Ze zvolených parametrů po dosazení do grafu č.3 se odečetla hodnota specifické spotřeby vrtů cca. $1,8 \text{ m.m}^{-3}$. Z toho vyplývá, že pro plochu čelby ($70,25 \text{ m}^2$) bude zapotřebí přibližně 127 vrtů. (plocha výrubu/měrná spotřeba vrtů) Z těchto dvou hodnot se může odhadnout celková spotřeba trhaviny, v tomto případě odhad činí 84.3 kg. Následně byl proveden návrh parametrů čtvercového zálomu. Ten se skládá ze 4 stupňů, každý stupeň má 4 vrty a uprostřed je prázdný nenabitý uvolňovací vrt. Jako první byl zvolen průměr nenabitého vrtu a poměr vzdálenosti prvního čtverce. Nenabitý vrt má průměr 203 mm a poměr rozteče mezi nabitým a nenabitým vrtem 1,5 násobek „a“, kdy (a) je označení pro vzdálenost nenabitého a nabitého vrtu. Pomocí grafu č.4 byla stanovena měrná spotřeba trhaviny pro první čtverec a maximální vzdálenost nabitých vrtů od nenabitého. Dále bylo postupováno podle předpisů v tabulce č.9 a grafu č.5. Tímto postupem stanovujeme měrnou spotřebu trhaviny u dalších čtverců do doby, než plocha zálomu přesáhne 2 m^2 . Tuto hodnotu přesáhl 4. čtverec v zálomu. U tohoto čtverce byla stanovena měrná spotřeba podle grafu č.6. Stejný graf č.6 byl použit i k následnému určení měrné spotřeby trhaviny v obrysových a přibírkových vrtech. Nejprve byla zvolena délka odporové úsečky $B = 0,8 \text{ m}$ a z grafu č.6 byla odečtena měrná spotřeba trhaviny l_b . Po určení l_b byly navrženy přibírkové a obrysové vrty podle tabulky č.10. Veškeré měrné spotřeby a délky odporových úseček jednotlivých typů vrtů jsou uvedeny v tabulce č. 22 a 23.

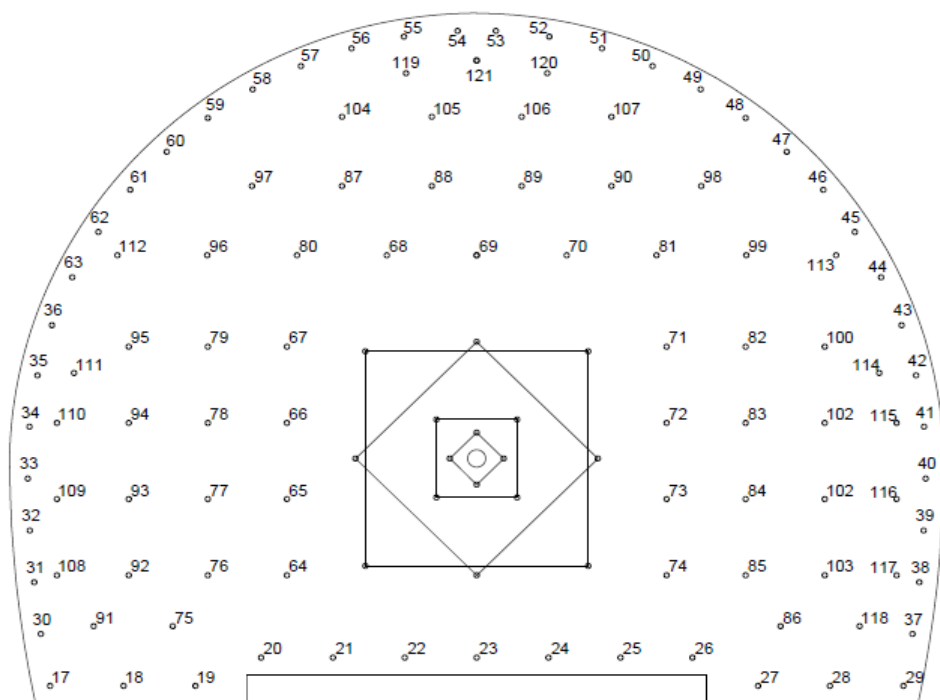
Tabulka č. 22 Souhrn spotřeby trhaviny ve čtvercovém zálohu

číslo čtverce zálohu	a	W_n	B_n	$l_{b,min}$	l_{bt}	Q_b	Q_c	Q_{celk}	Q_{skut}
	[-]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[kg/m]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
1	1,5	424	310	0,7	1,0	0,69	-	0,69	0,7
2	-	899	424	0,6	1,0	0,788	-	0,79	0,8
3	-	1907	899	1	1,0	0,55	-	0,55	0,6
4	-	0,8	0,8	0,8	0,8	0,266	0,2133	0,48	0,5

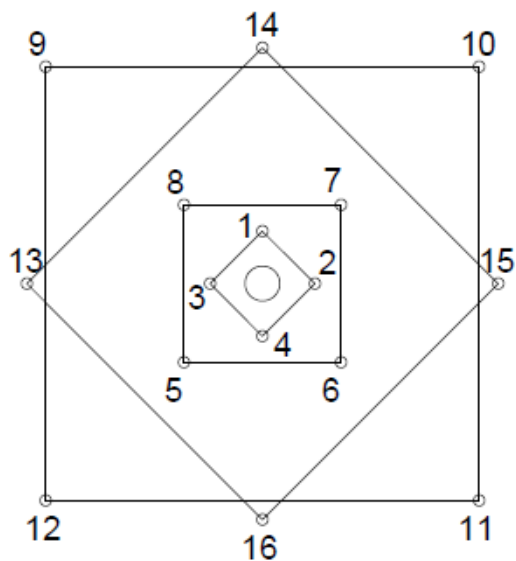
Tabulka č. 23 Souhrn spotřeby trhaviny a délek odporových přímek v obrysových a přibírkových vrtech

Vrty		B	$l_{b,min}$	l_{bt}	l_c	Q_b	Q_c	Q_{celkem}	Q_{skut}
		[m]	[kg/m]	[kg/m]	[kg/m]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
Obrysové	počevní	0,8	0,8	1,0	1,0	0,333	0,506	0,83	0,85
	stěnové	0,6	0,8	1,0	0,4	0,166	0,173	0,33	0,35
	kalotové	0,6	0,8	1,0	0,3	0,166	0,130	0,3	0,3
Přibírkové	horizontální	0,8	0,8	1,0	0,5	0,333	0,133	0,46	0,5
	úpadní	0,8	0,8	1,0	0,5	0,333	0,133	0,46	0,5

Při měrné spotřebě trhaviny $l_b = 1,0 \text{ kg/m}$ je nutno aplikovat Kemmitti 810 s hustotou $1,1 \text{ kg.dm}^{-3}$, aby bylo možné nabít vrty stanoveným množstvím trhaviny. Souhrny vrtů a technologie TP jsou uvedeny v tabulkách 28 a 29. a obrázky č. 23. a 24



Obrázek č. 23 Vrtné schéma, metoda návrhu nálože dle Olofssona



Obrázek č. 24 Vrtné schéma – detail zálomu, Olofsson

Tabulka č. 24 Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle Olofssona, Kemmitti 810

1.	Profil díla		Podkovovitý (specifický)
2.	Hrubý profil = F_{hr}	m^2	70,25
3.	Výlom	m^3	70,25
4.	Typ zálomu		Čtvercový zálom
5.	Zabírka	m	1,00
6.	Počet vývrtů		121
7.	Průměr vývrtů	mm	38
8.	Celková délka všech vývrtů	m	121
9.	Typ trhaviny, booster		Kemmitti, Forprim
10.	Celková hmotnost trhaviny	kg	60,65
411.	Celková hmotnost boosteru		4,6
12.	Typ rozbušek		DeD, III, TIME*Star 250
13.	Celkový počet rozbušek	ks	121
14.	Ucpávka		-
15.	Typ roznětu, roznětnice, ohmmetr		Elek., Schafflrer 992, DO 200/2000
16.	Zapojení při elektrickém roznětu		Sérioparalelní
17.	Manipulační a bezpečnostní okruh	m	250,00

Tabulka č. 25 Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Olofssona, Kemmitti 810

Číslo vrtu	Průměr vrtu [mm]	Délka vrtu [m]	Úhel k čelbě [°]	Trhavina + Booster	Rozbušky	Průměr nálože [mm]	Hmotnost trhaviny [kg/vrt]	Časový stupeň	Druh vrtu
1-4	38	1	90	Kemmitti + Forprime	DeD, III, TIME*Star 250	38	0,7	1°	zálom
5-8							0,8	2°	zálom
9-12							0,6	3°	zálom
13-16							0,5	4°	patní
17-21							0,85	15°	patní
22-24								16°	patní
25-29								17°	patní
30-36							0,3	18°	obrysový
37-43								19°	obrysový
44-63								20°	obrysový
64-74							0,5	5°	rozšiřovací
75-80								6°	rozšiřovací
81-86								7°	rozšiřovací
87-90								8°	rozšiřovací
91-97								9°	rozšiřovací
98-103								10°	rozšiřovací
104-107								11°	rozšiřovací
108-112								12°	rozšiřovací
113-118								13°	rozšiřovací
119-121								14°	rozšiřovací

Výpočet nálože pro plastickou trhavinu Perunit E

Návrh a postup při navrhování vrtného schématu se přebírá z návrhu emulzní trhaviny, mění se pouze spotřeba trhaviny a průměry vrtů. Zvolená odporová úsečka pro příbírkové a obrysové vrty je $B = 0,8$ m. Při řešení postupujeme stejně jako při návrhu pro emulzní trhavinu. Výpočet je tedy prováděn podle tabulek č.22 a 23. Výsledné vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 26 a 27.

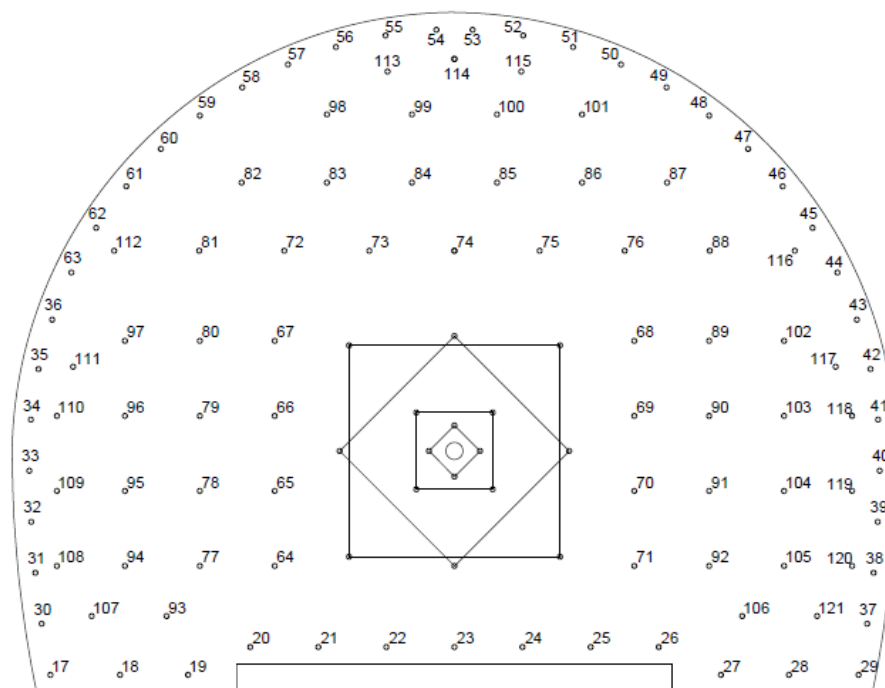
Tabulka č. 26 Souhrn spotřeby trhaviny ve čtvercovém zálomu

číslo čtverce zálomu	a	W_n	B_n	$l_b \text{ min}$	l_{bt}	Q_b	Q_c	Q_{skut}
	[-]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[kg/m]	[kg]	[kg]	[kg]
1	1,5	424	310	0,6	0,9	0,64	-	0,6
2	-	899	424	0,4	0,9	0,63	-	0,6
3	-	1907	899	0,8	1,56	0,809	-	1,0
4	-	0,8	0,8	0,8	1,56	0,4851	0,198	1,0

Tabulka č. 27 Souhrn spotřeby trhaviny a délek odporových přímk v obrysových a přibírkových vrtech

Vrty		B	$l_b \text{ min}$	l_{bt}	l_c	Q_b	Q_c	Q_{skut}
		[m]	[kg/m]	[kg/m]	[kg/m]	[kg]	[kg]	[kg]
Obrysové	počevní	0,8	0,8	0,9	0,8	0,3	0,24	0,6
	stěnové	0,6	0,8	0,9	0,36	0,15	0,192	0,4
	kalotové	0,6	0,8	0,9	0,27	0,15	0,144	0,4
Přibírkové	horizontální	0,8	0,8	1,56	0,78	0,52	0,208	1,0
	úpadní	0,8	0,8	1,56	0,78	0,52	0,208	1,0

Z vypočtených hodnot hmotností náloží a odporových přímk navrhuji trhací práci. Souhrny vrtnů a technologie TP jsou uvedeny v tabulkách 28 a 29 a obrázek č. 25.



Obrázek č. 25 Vrtné schéma, metoda návrhu nálože dle Olofssona

Tabulka č. 28 Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle Olofssona, Perunit E

1.	Profil díla		V
2.	Hrubý profil = F_{hr}	m ²	70,25
3.	Výlom	m ³	70,25
4.	Typ zálomu		Čtvercový zálom
5.	Zabírka	m	1,00
6.	Počet vývrtů		121
7.	Průměr vývrtů	mm	38, 45
8.	Celková délka všech vývrtů	m	121
9.	Typ trhaviny		Perunit E
10.	Celková hmotnost trhaviny	kg	92,2
11.	Typ rozbušek		DeD, III, TIME*Star 250
12.	Celkový počet rozbušek	ks	121
13.	Ucpávka		-
14.	Typ roznětu, roznětnice, ohmmetr		Elek., Schafflrer 992,
15.	Zapojení při elektrickém roznětu		sérioparalelní
16.	Manipulační a bezpečnostní okruh	m	250,00

Tabulka č. 29 Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Olofssona, Perunit E

Číslo vývrtu	Průměr vývrtu [mm]	Délka vývrtu [m]	Úhel k čelbě [°]	Trhavina	Rozbušky	Průměr nálože [mm]	Hmotnost trhaviny [kg/vrt]	Časový stupeň	Druh vrtu
1-4	38	1,0	90	Perunit E	DeD, III, TIME*Star 250	28	0,6	1°	zálom
5-8								2°	zálom
9-12	45					38	1,0	3°	zálom
13-16								4°	patní
17-20	38					28	0,6	17°	patní
21-25								18°	patní
26-29								19°	patní
30-36							0,4	20°	obrysový
37-43								21°	obrysový
44-63								22°	obrysový
64-67	45					38	1,0	5°	rozšiřovací
68-71								6°	rozšiřovací
72-76								7°	rozšiřovací
77-81								8°	rozšiřovací
82-87								9°	rozšiřovací
88-92								10°	rozšiřovací

Číslo vřvtu	Průměr vřvtu [mm]	Délka vřvtu [m]	Úhel k čelbě [°]	Trhavina	Rozbušky	Průměr nálože [mm]	Hmotnost trhaviny [kg/vrt]	Časový stupeň	Druh vřtu
93-97	45	1	90	Perunit E	DeD, III, TIME*Star 250	38	1,0	11°	rozšiřovací
98-101								12°	rozšiřovací
102-106								13°	rozšiřovací
107-112								14°	rozšiřovací
113-115								15°	rozšiřovací
116-121								16°	rozšiřovací

5.5.1. Výpočet nálože podle Bhandari

Výpočet nálože pro emulzní trhavinu Kemmitti 810

Při použití trhaviny Kemmitti 810 byl zvolen přímý čtvercový zálom. Zabírka byla zvolena o délce 2 m, jelikož není možné pro danou trhavinu zvolit zabírku o délce 1 m. Jako první byl z grafu č.7 stanoven předpokládaný počet vřtů na čelbě (cca 70 vřtů). Dále bylo stanoveno rozmístění vřtů v zálomu dle vztahů ze vzorců (14), (15), (16). Průměr nenabitého uvolňovacího vřtu je 200 mm. Měrná spotřeba trhaviny pro zálomové vřty se stanoví z tabulky č.11, $l_b = 0,55\text{kg/m}$ vřtu. Souhrn spotřeby trhaviny a odporových příček zálomu je shrnut v tabulce č. 30

Tabulka č. 30 Souhrn spotřeby trhaviny ve čtvercovém zálomu

číslo čtverce zálomu	a	V_n	B_n	$l_b \text{ min}$	l_b	Q_b	Q_c	Q_{skut}
	[-]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[kg/m]	[kg]	[kg]	[kg]
1	1,5	424	310	0,6	0,9	0,64	-	0,6
2	-	899	424	0,4	0,9	0,63	-	0,6
3	-	1907	899	0,8	1,56	0,809	-	1,0
4	-	0,8	0,8	0,8	1,56	0,4851	0,198	1,0

Následně dle vztahu (17) spočteme délku odporové úsečky.

$$B = \frac{H_r - 0,4}{2} = \frac{2 - 0,4}{2} = 0,8 \text{ m} \quad (17)$$

Po vypočtení délky odporové úsečky pokračujeme v návrhy spotřeby trhaviny do jednotlivých vrtů podle tabulky č. 12 a 13. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č.31.

Tabulka č. 31 Souhrn spotřeby trhaviny a délek odporových přímk v obrysových a přibírkových vrtech

Vrty		B	l _b	l _c	Q _b	Q _c	Q _{celkem}	Q _{skut}
		[m]	[kg/m]	[kg/m]	[kg/m]	[kg/m]	[kg]	[kg]
Obrysové	počevní	0,8	1,5	1,5	1,00	1,40	2,40	2,50
	stěnové	0,72	1,2	0,48	0,40	0,70	1,10	1,20
	kalotové	0,72	1,2	0,48	0,40	0,77	1,17	1,20
Přibírkové	horizontální	0,88	1,5	1,5	1,00	2,13	3,13	3,68
	úpadní	0,8	1,4	1,4	0,93	2,24	3,17	3,19

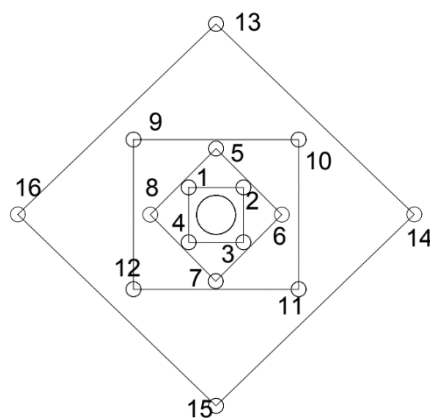
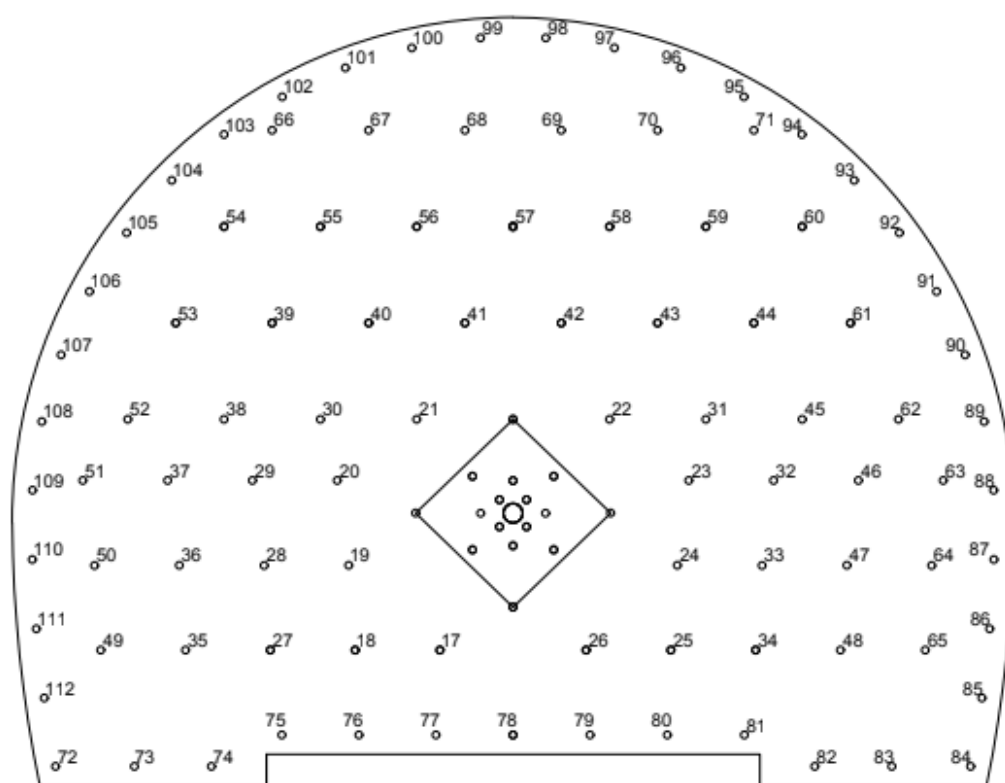
Z vypočtených hodnot hmotností náloží a odporových přímk všech vrtů se navrhuje trhací práce. Souhrny technologie a vrtů TP jsou uvedeny v tabulkách 32 a 33 a obrázek č. 26. V tabulce č. 22 souhrn vrtů chybí oproti ostatním tabulkám návrhů časového stupně. Ty zde nejsou uvedeny z důvodů nerealizovatelného časování pomocí elektrických rozbušek.

Tabulka č. 32 Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle Bhandari, Kemmitti 810

1.	Profil díla		Podkovovitý (specifický)
2.	Hrubý profil = F_{hr}	m ²	70,25
3.	Výlom	m ³	70,25
4.	Typ zálomu		Čtvercový zálom
5.	Zabírka	m	2,00
6.	Počet vývrtů		112
7.	Průměr vývrtů	mm	38, 50
8.	Celková délka všech vývrtů	m	224
9.	Typ trhaviny, booster		Kemmitti, Forprim
10.	Celková hmotnost trhaviny	kg	275,5
411.	Celková hmotnost boosteru		4,25
12.	Typ rozbušek		E*STAR
13.	Celkový počet rozbušek	ks	112
14.	Ucpávka		-
15.	Typ roznětu, roznětnice, ohmmetr		Elek., Schafflrer 992, DO 200/2000
16.	Zapojení při elektrickém roznětu		Sérioparalelní
17.	Manipulační a bezpečnostní okruh	m	250,00

Tabulka č. 33 Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Bhandari, Kemmitti 810

Číslo vývrtu	Průměr vývrtu [mm]	Délka vývrtu [m]	Úhel k čelbě [°]	Trhavina + Booster	Rozbušky	Průměr nálože [mm]	Hmotnost trhaviny [kg/vrt]	Druh vrtu
1-16	38	2	90	Kemmitti + Forprime	E*STAR	38	1,1	zálom
17-50	50					50	3,19	rozšiřovací
51-71	50					50	3,68	rozšiřovací
82-87	38					38	1,2	obrysový
88-99	38					38	1,2	obrysový
100-112	50					50	2,5	patní



Obrázek č. 26 Vrtné schéma, metoda návrhu nálože dle Bhandari a detail Vrtné schéma – detail zálomu, Bhandari

Výpočet nálože pro plastickou trhavinu Perunit E

Návrh a postup při navrhování vrtného schématu se přebírá z návrhu emulzní trhaviny, mění se pouze spotřeba trhaviny a průměry vrtů. Vypočtené hodnoty odporových úseček zálomu a spotřeby trhaviny jsou uvedeny v tabulce č.34. Vypočtené hodnoty odporových úseček pro příbírkové a obrysové vrty jsou uvedeny v tabulce č 35.

Tabulka č. 34 Souhrn spotřeby trhaviny ve čtvercovém zálomu

číslo čtverce zálomu	a	V _n	B _n	l _b min	l _b	Q _b	Q _c	Q _{skut}
	[-]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[kg/m]	[kg]	[kg]	[kg]
1	1,5	424	310	0,6	0,9	0,64	-	1,25
2	-	899	424	0,4	0,9	0,63	-	1,25
3	-	1907	899	0,8	1,56	0,809	-	1,25
4	-	0,8	0,8	0,8	1,56	0,4851	0,198	1,25

Tabulka č. 35 Souhrn spotřeby trhaviny a délek odporových přímek v obrysových a přibírkových vrtech

Vrty		B	l _b	l _c	Q _b	Q _c	Q _{celkem}	Q _{skut}
		[m]	[kg/m]	[kg/m]	[kg/m]	[kg/m]	[kg]	[kg]
Obrysové	počevní	0,8	1,5	1,5	1,00	1,40	2,40	2,50
	stěnové	0,72	1,2	0,48	0,40	0,70	1,10	1,25
	kalotové	0,72	1,2	0,48	0,40	0,77	1,17	1,25
Přibírkové	horizontální	0,88	1,5	1,5	1,00	2,13	3,13	3,75
	úpadní	0,96	1,4	1,4	0,93	2,24	3,17	3,75

Z vypočtených hodnot hmotností náloží a odporových přímek všech vrtů navrhuji trhací práci. Souhrny vrtů a technologie TP jsou uvedeny v tabulkách č. 36 a 37. a obrázek č.26.

Tabulka č. 36 Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle Bhandari, Perunit E

1.	Profil díla		Podkovovitý (specifický)
2.	Hrubý profil = F _{hr}	m ²	70,25
3.	Výlom	m ³	70,25
4.	Typ zálomu		Čtvercový zálom
5.	Zabírka	m	2,00
6.	Počet vývrtů		112
7.	Průměr vývrtů	mm	38, 45, 55
8.	Celková délka všech vývrtů	m	224
9.	Typ trhaviny, booster		Perunit E
10.	Celková hmotnost trhaviny	kg	293,75
12.	Typ rozbušek		E*STAR
13.	Celkový počet rozbušek	ks	112
14.	Ucpávka		-
15.	Typ roznětu, roznětnice, ohmmetr		Elek., Schafflrer 992, DO 200/2000
16.	Zapojení při elektrickém roznětu		Sérioparalelní
17.	Manipulační a bezpečnostní okruh	m	250,00

Tabulka č. 37 Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Bhandari, Perunit E

Číslo vývrtu	Průměr vývrtu [mm]	Délka vývrtu [m]	Úhel k čelbě [°]	Trhavina + Booster	Rozbušky	Průměr nálože [mm]	Hmotnost trhaviny [kg/vrt]	Druh vrtu
1-16	38	2	90	Perunit E	E*STAR	38	1,25	zálom
17-50	55					50	3,75	rozšiřovací
51-71	55					50	3,75	rozšiřovací
82-87	38					38	1,25	obrysový
88-99	38					38	1,25	obrysový
100-112	45					50	2,5	patní

5.6. Návrh roznětné sítě

Elektrický roznět

Elektrický roznět byl podrobně navržen pro metodu návrhu TP podle Olofssona. Pro elektrický roznět bude použita kondenzátorová roznětnice VTR -2 nebo Schafflrer 992 a rozbušky TIMESTAR 250 od společnosti Austin Powder - Detonators. Tyto rozbušky se vyrábí ve 36 časových stupních po 250 ms a ve třech třídách odolnosti. Výběr odolnosti závisí od rizika bludných proudů. Základní parametry roznětnice a rozbušky jsou uvedeny v tabulkách č. 30 a 31.

Tabulka č. 38 Základní parametry kondenzátorových roznětnic [8]

Typ roznětnice	Napětí roznětnice (U)	Kapacita (C)	Celková energie (E _R)
	[V]	[μF]	[J]
VTR - 2	1200	46	33
Schafflrer 992	3000	400	180

Tabulka č. 39 základní parametry elektrické rozbušky [16]

Typ Rozbušky	elektrický odpor pilule (R _p)	bezpečný impulz	roznětný impulz (E _A)
	[Ω]	[mJ/Ω]	[mJ/Ω]
TIME*STAR 250	0,16-0,20	80	140

Nejprve byl vypočítán celkový odpor vedení (R_c). Celkový odpor vedení je roven součtu roznětné sítě (R_s), prodlužovacích vodičů (R_v) a přívodního vedení (R_{hv}) vzorec (19). Přívodní vedení je měděný dvojité vodič průměru 1 mm odporu 0,044 m/ohm. Délka přívodního vedení je 250 m.

$$R_{HV} = 2 \cdot l \cdot \rho \quad (19)$$

$$R_{HV} = 2 \cdot 0,044 \cdot 250$$

$$R_{HV} = 22 \, \Omega$$

Kde:

R_{hv} – odpor hlavního vedení [Ω]

l – délka vedení [m]

ρ – odpor vodiče na 1bm [Ω/bm]

Prodlužovací vodiče R_v mají celkovou délku 10 m. Vlastnosti vodiče jsou stejné jako u přívodního vedení. Proto odpor R_v :

$$R_v = l \cdot \rho \quad (20)$$

$$R_v = 10 \cdot 0,044$$

$$R_v = 0,44 \, \Omega$$

Kde:

R_v – odpor prodlužovacích vodičů [Ω]

l – délka vedení [m]

ρ – odpor vodiče na 1bm [Ω/bm]

Dále byl proveden výpočet odporu spojených rozbušek v síti R_s vzorec (22). K tomu potřebujeme znát odpor rozbušky a jejího vedení. Odpor jedné rozbušky vzorec (21):

$$R_1 = R_p + 2 \cdot l \cdot \rho \quad (21)$$

$$R_1 = 0,2 + 2 \cdot 2 \cdot 0,089$$

$$R_1 = 0,556 \, \Omega$$

$$R_s = 127 \cdot R_1 \quad (22)$$

$$R_s = 70,612 \, \Omega$$

Kde:

R_s – odpor rozbušek v síti [Ω]

R_1 – odpor jedné rozbušky [Ω]

l – délka vedení [m]

ρ – odpor vodiče na 1bm [Ω/bm]

Celkový odpor vedení R_c se pak rovná vzorci (23)

$$R_c = R_s \cdot R_v \cdot R_{HV} \quad (23)$$

$$R_c = 70,6 + 0,44 + 22$$

$$R_c = 93,052 \, \Omega$$

Kde:

R_c – celkový odpor vedení [Ω]

R_{hv} – odpor hlavního vedení [Ω]

R_v – odpor prodlužovacích vodičů [Ω]

R_s – odpor rozbušek v síti [Ω]

Pro spolehlivý roznět pomocí roznětnice VTK 2 při sériovém zapojení platí následující podmínka:

$$E_c = E_A \cdot R_c \quad (24)$$

$$E_c = 0,14 \cdot 93,052$$

$$E_c = 13,03 \, J$$

$$\Sigma = \frac{E_R}{E_c} \quad (25)$$

$$\Sigma = \frac{33}{13,03} = 2,53$$

Kde:

E_c – celkový zážehový impuls [J]

E_R – Výkon roznětnice [J]

E_A – zážehový impuls rozbušky [J/ Ω]

R_c – celkový odpor vedení [Ω]

Σ – spolehlivost roznětu

Z výpočtu spolehlivosti roznětnice vyplývá, že roznětnice VTR – 2 má rezervu výkonu 60,5 %. Dále musíme ověřit spolehlivost roznětu v sériovém zapojení rozbušek vzorec (26):

$$\tau \leq 0,004 \quad (26)$$

$$R_c \cdot C \leq 0,004$$

$$0,00428 > 0,004$$

Kde:

τ – časová konstanta vybíjení kondenzátoru [s]

R_c – celkový odpor vedení [Ω]

C – kapacita kondenzátoru [μF]

Nerovnost nevyhovuje, proto musí být použito jiné roznětnice nebo jiného zapojení. Z těchto důvodů změníme typ roznětnice a upravíme zapojení sítě ze sériového na sérioparalelní. Jako první se spočte celkový odpor vedení R_c :

$$R_c = R_{HV} + \frac{R_{vt}}{n} \quad (27)$$

$$R_c = 22 + \frac{42 \cdot R_1}{3}$$

$$R_c = 29,78 \, \Omega$$

Kde:

R_c – celkový odpor vedení [Ω]

R_{vt} – odpor jedné větve v sérioparalelním zapojení [Ω]

n – počet větví v sérioparalelním zapojení

R_{hv} – hlavní přívodní vedení [Ω]

Dále spočteme časovou konstantu vybíjení kondenzátoru při sérioparalelním zapojení ze vztahu č (28) a Energetický impuls E vzorec (29) který dodáme do roznětného vedení danou roznětnicí.

$$\tau = C \cdot \left(R_{HV} + \frac{R_{SV}}{n^2} \right) \quad (28)$$

$$\tau = 0,000046 \cdot \left(22 + \frac{42 \cdot 0,556 \cdot 3}{3^2} \right)$$

$$\tau = 0,00137 \, \text{s}$$

$$E = \frac{U^2 \cdot C}{2(n^2 \cdot R_{HV} + R_{SV})} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2T}{\tau}}\right) \quad (29)$$

$$E = \frac{3000^2 \cdot 0,000004}{2(3^2 \cdot 29,78 + 42 \cdot 0,556 \cdot 3)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,004}{0,000929}}\right)$$

$$E = 0,531 \text{ J}$$

Kde:

E – energetický impuls [J]

U – napětí roznětnice [V]

C – kapacita roznětnice [μF]

n – počet větví

R_{HV} – odpor hlavního vedení [Ω]

R_{SV} – součet odporů všech větví [Ω]

e – Eulerovo číslo

τ – časová konstanta vybíjení kondenzátoru [s]

Dále ověříme podmínky nerovnosti zážehového impulsu a maximální velikosti konstanty porovnáním Elektrického impulsu E, dodaný roznětnicí do roznětného vedení se zážehovým impulzem rozbušky E_A.

$$E \geq E_A \quad (30)$$

$$0,531 > 0,140$$

Podmínka splněna.

$$\tau \leq 0,004 \quad (26)$$

$$0,00137 \leq 0,004$$

Podmínka splněna.

Jelikož je splněna podmínka nerovnosti zážehového impulsu i podmínka maximální velikosti konstanty, navrhovaný roznět je spolehlivý.

Ucpávka

Veškeré ucpávky použité při ražení tunelu budou vodní. Vodní ucpávky jsou, co se týče instalace, méně časově i technicky náročné oproti ucpávkám z vrtné drti a jílu. Tento typ ucpávek bude použit pouze pro trhavinu Perunit E. Pro emulzní trhavinu se ucpávky nepoužívají.

5.7. Závěrečné vyhodnocení

V předchozích kapitolách byly provedeny výpočty návrhů trhačích prací pro ražbu tramvajového tunelu v Brně – Žabovřesky. Výsledky výpočtů návrhů jsou uvedeny formou pasportu trhačích prací v příslušných kapitolách. Pro rekapitulaci a provedení vyhodnocení jednotlivých návrhových metod pro oba typy trhaviny jsou přehledně shrnuty v tabulce č. 40.

Tabulka č. 40 Souhrn základních parametrů trhačích prací

Metod	Trhavina	počet vrtů	délka zabírky	Celková hmotnost na 1 cyklus	spotřeba boosteru	max. hmotnost trhaviny
		[ks]	[m]	[kg]	[kg]	[kg/vrt]
Mečíř Válek	Kemmitti 810	103	1	76,64	4,46	0,8
	Perunit E	103	1	95,8		1
Olofsson	Kemmitti 810	121	1	60,65	4,6	0,85
	Perunit E	121	1	92,2		1
Bhandari	Kemmitti 810	112	2	275,5	4,25	3,68
	Perunit E	112	2	293,75		3,75

Nejvyšší spotřeba trhavin potřebné k rozpojení horniny pro jeden cyklus byla vypočtena u metody návrhu podle Bhandariho. Vysoká spotřeba trhaviny na jeden cyklus byla zapříčiněna delší zabírkou, jelikož nebylo možné navrhnout kratší zabírku. Zabírka po 1 m nebyla možná z důvodu nevyhovující odporové úsečky (příliš krátká odporová úsečka) a spotřeba trhavin (množství použité trhaviny přesáhne objem vývrtu o délce 1 m a průměru 50 mm). Pro realizování trhačích prací je dále tato metoda nevhodná z důvodů hmotnosti nálože na jeden vrt (seizmické limity povolují maximální možnou hmotnost trhavin na jeden časový stupně 6,25kg, iniciace rozbušek by musela probíhat vždy po jednom vrtu). Následné časování by nebylo možné provést elektrickým roznětem tak, aby byly dodrženy limity seizmického vlivu na okolní budovy.

Druhá nejvyšší spotřeba trhaviny potřebná k rozpojení horniny je při návrhu dle metody Mečíř – Válek. Tato metoda udává přesnější výsledky u menších profilů, nicméně pro zadaný profil je taktéž vhodná. Maximální hmotnost trhaviny na jeden vrt je 1 kg (Perunit E). Elektrický roznět je možné efektivně rozvrhnout tak, aby seizmické účinky byly minimální a nedocházelo tak k poškození okolních objektů.

Nejnižší spotřeba trhaviny k rozpojení horniny byla vypočtena u metody Olofsson. Tento návrh má největší spotřebu vrtů oproti ostatní metodám, což se projeví ve výsledné ceně i celkové době vrtných prací.

V porovnání spotřeby emulzní trhaviny Kemmitti 810 a plastické trhaviny Perunit E je výsledná spotřeba emulzní trhaviny nižší pro všechny vypočtené metody, u metody Mečíř – Válek je spotřeba emulzní trhaviny Kemmitti 810 je na úrovni 80,00% spotřeby plastické trhaviny Perunitu E, metody dle Olofsson 65,78 % a u metody Bhandari pak 93,79 %.

Pro budoucího investora je samozřejmě jedním z nejdůležitějších kritérií cena prací. Pro následné vyhodnocení jsou v tabulce č.41 jsou porovnány cenové návrhy jednotlivých metod a trhavin.

Tabulka č. 41 Finanční nacenění prostředků pro trhací práce

Metod	Trhavina	počet vrtů	celková hmotnost trhaviny	celková hmotnost boosteru	cena trhaviny	cena booster	cena rozbušky	náklady na 1 cyklus
		[ks]	[kg/cyklus]	[kg/cyklus]	[kč/kg]	[kč/kg]	[kč/ks]	[kč]
Mečíř - Válek	Kemmitti 810	103	76,64	4,46	16,2	24,2	23	3 718,50
	Perunit E	103	95,8	-	49	-	23	7 063,20
Olofsson	Kemmitti 810	121	60,65	4,6	16,2	24,2	23	3 876,85
	Perunit E	121	92,2	-	49	-	23	7 300,80
Bhandari	Kemmitti 810	112	275,5	4,25	16,2	24,2	250	32 565,95
	Perunit E	112	293,75	-	49	-	250	42 393,75

V tabulce č.41 finančních nákladů dle jednotlivých metod, jsou uvedené ceny pro jednotlivé položky trhacích prací včetně výpočtu celkových nákladů. Uváděné ceny jsou na úrovni roku 2019 (listopad). V tabulce není kalkulováno s náklady na technické práce (vrtné práce, doprava apod.).

Jako náklady na jeden cyklus vychází z finančního hlediska nejlevnější výpočet dle Mečíř – Válek, ovšem náklady na TP dle výpočtu Olofsson jsou téměř shodné, navýšení ceny je o 4,26 % pro emulzní trhavinu Kemmitti 810 a pro plastickou trhavinu Perunit E pak 3,36 %. Náklady dle metody podle Bhandariho jsou pak o řád vyšší z důvodu elektronického roznětu. Cena u emulzní trhaviny Kemmitti 180 je 35 565,-Kč (cca 8 krát vyšší) a u Perunitu E 42 393,75,-Kč (cca 6 krát vyšší) než u předchozích dvou metod.

V celé kapitole 5 byly použity informace ze Závěrečné zprávy inženýrskogeologického průzkumu. Lit. [4,15]

6. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout trhací práce v podzemí pro konkrétní projektované podzemní dílo – tramvajový tunel v Brně Žabovřesky. Tunel je projektován v atypickém profilu v délce ražené části 370 m s plochou čelby 70,25 m². Výpočet trhacích prací byl proveden pro 3 různé metody výpočtu a 2 různé trhaviny. Diplomová práce je rozdělena do dvou částí, teoretické a praktické.

Teoretická část je rozdělena na tři dílčí celky.

První se věnuje problematice trhacích prací a základnímu popisu působení výbuchu nálože na horninové prostředí včetně popisu negativních účinků trhacích prací, zvláště seizmických účinků trhacích prací na okolí a míru poškození okolních objektů.

Druhá část je zaměřena přímo na prostředky trhacích prací a jejich charakteristiky v posloupnosti rozdělení výbušnin, technologie nabíjení a metody roznětu.

Třetí část celku teoretické části se věnuje popisu výpočtů a dimenzování náloží dle vybraných metod; v této diplomové práci byly v praktické části počítány trhací práce metodami dle Mečíře-Válka, Olofssona a dle Bhandariho.

V praktické části je uveden popis lokality z hlediska geologické stavby okolí, vlastností a složení horninového prostředí v místě projektované realizace tramvajového tunelu. Formou ilustračního řezu a formou tabulky jsou zde prezentovány jednotlivé geotechnické typy hornin v budoucí ose projektovaného tramvajového tunelu. Geologická a geotechnická data pro výpočet trhacích prací byly převzaty ze závěrečné zprávy inženýrskogeologického průzkumu lokality [4].

V následných kapitolách jsou provedeny vlastní výpočty náloží dle jednotlivých metod pro trhaviny Perunit E a Kemmitti 810. Po provedení výpočtů byl pro každou variantu – typ použité trhaviny, sestaven pasport trhacích prací (pasport trhacích prací - souhrn technologie a pasport trhacích prací - souhrn vrtů). Celkem je ve diplomové práci uvedeno 6 pasportů.

V závěru praktické části byl proveden návrh roznětné sítě, který byl navržen na parametry trhacích prací vypočtené dle Olofssona, který se dá použít i pro návrhy dle Mečíře-Válka. U Bhandariho tato metoda není možná z důvodů nutnosti vysokého počtu časových stupňů elektrického roznětu. Roznět by bylo možné realizovat při použití elektronických rozbušek. Ve fázi provedených výpočtů již bylo zřejmé, že tato metoda nebude výhodná, proto se v práci této metodě dále nevěnuji. Následně bylo provedeno ekonomické zhodnocení v členění dle jednotlivých metod.

Z výsledků provedených výpočtů a jejich porovnáním lze vyvodit, že pro danou problematiku je vhodné využít více metod výpočtů dimenzování náloží a více druhů možných trhavin včetně zvolení přístupu k volbě zálomu. Zvolením více možností nám dává prostor provést jejich srovnání z hlediska realizace vlastních trhacích prací (počty vrtů, hmotnost použitých náloží, eliminace negativních vlivů na okolí) a ekonomické výhodnosti pro výběr nejvhodnější metody k realizaci konkrétních trhacích prací.

Dále lze vyvodit, že užívání emulzních trhavin pro trhací práce na tunelu je levnější a má menší spotřebu než, při použití plastických trhavin.

Jako nejvýhodnější pro realizaci trhací práce na díle Tramvajový tunel Brno Žabovřesky jsem na základě provedených výpočtů a s požadavkem poškození okolních objektů na stupeň poškození „0“ (stupeň nula) a ekonomickým zhodnocením vybral jako nejvýhodnější metodu dle Olofssona pro trhavinu Kemmitti 810. Přestože má metoda dle Olofsson největší počet vrtů, má však celkově menší spotřebu hmotnosti náloží na jeden cyklus (v porovnání Mečíř – Válek se jedná o 79% spotřeby trhaviny) a vzhledem k situování a velikosti (malosti) nálože v obrysových vrtech, pak zaručuje přesnější ražený profil oproti metodě dle Mečíře – Válka. Cena trhaviny na 1 cyklus dle Olofssona má jen nepatrně vyšší cenu, než vychází u metody dle Mečíř – Válek (rozdíl + 4,26 %). K rozhodnutí výběru přispěl i fakt, že metoda Mečíř – Válek je určena převážně pro menší plochy čelby (není však vyloučeno ji použít i pro řešenou plochu čelby přes 70 m²).

Seznam literatury

- [1] BARTOŠ, Josef a MEČÍŘ, Roman. *Příručka pro střelmistry v hornictví, stavebnictví a ostatních oborech*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1975. Řada hornické literatury.
- [2] BHANDARI, Sushil. *Engineering Rock Blasting Operations*. Department of Minig Engineerig, J.N.V. University, Jodhupr, India. A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield/1997
- [3] ČSN 73 0040: Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva. Český normalizační institut, Hornoměřolupská 40, 102 04 Praha 10, 1996.
- [4] HANÁK, J.: Závěrečná zpráva, Silnice I/42 Brno – VMO Žabovřeská, podrobný inženýrskogeologický průzkum pro tramvajový tunel v Brně - Žabovřeskách
- [5] HORKÝ, Jiří a KOŘÍNEK, Robert. *Návody ke cvičením z předmětu trhací práce a rozpojování hornin*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1981.
- [6] Inženýrskogeologický průzkum [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/02-IG-pruzkum_prednaskovy-text.pdf
- [7] MEČÍŘ, Roman a VÁLEK, Dušan. *Novodobá vrtací a trhací technika*. 2., přepracované a rozšířené vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1969. Řada hornické literatury.
- [8] MÜNCNER, Eduard. *Příručka pre strelmajsterov a technických vedúcích odstrelav*. Bánská Bistrica: SSTVP, 2011. ISBN 80-968748-4-5
- [9] OLOFSSON, Stig. *Applpyed explosives technology dor construction and minig*. 2nd ed. Arla, Sweden: applex, 1991 ISBN 91-7970-634-7.
- [10] PRAVDA, Vladimír a BĚTÍK, Jiří. *Trhací práce v hornictví, stavebnictví a speleologii*. Jesenice u Prahy: Montanika, 2010. ISBN 978-80-254-8542-2.
- [11] SMETANA, Ctirad. *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika, 1998. ISBN 80-901936-2-5.

- [12] Vyhláška ČBU č 72/1988 Sb., o používání, výbušnin In: sbírka zákonů 1998.
- [13] Gis Brno [online]. [cit. 2019-11-26]. Dostupné z: <https://gis.brno.cz>
- [14] Užitá geofyzika [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <http://geofyzika.webz.cz/vlnseism.php> Geofyzika <http://geofyzika.webz.cz/vlnseism.php>
- [15] *Direct industry* [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/normet-international-ltd/product-59086-1132103.html>
- [16] Austin Detonator s.r.o. [online]. [cit. 2019-11-26]. Dostupné z: <https://www.austin.cz>

Obrázky v textu

Obrázek č. 1 – Pásma působení výbuchu nálože. [8]	14
Obrázek č. 2 Průběh šíření podélných a příčných vln. [13]	16
Obrázek č. 3 Nabíjecí vůz pro podzemní díla – emulzní trhavina, Charmec LC 605 D(V) [14]	26
Obrázek č. 4 základní konstrukce neelektrické rozbušky [9]	27
Obrázek č. 5 Konstrukce elektrických rozbušek [9]	28
Obrázek č. 6 Konstrukce elektronické rozbušky, upraveno dle [10]	32
Obrázek č. 7 Schematické zobrazení zapojení elektronických rozbušek (i-kon) do roznětné sítě [10]	33
Obrázek č. 8 Langeforsův diagram pro přímé zálomy (k_m - měrná spotřeba trhaviny, D_{zv} - průměr nenabitého vrtu, S_{zv} - vzdálenost prvního čtverce zálomu od nenabitého vrtu (odporová úsečka)). [7]	38
Obrázek č. 9 Schéma rozmístění vrtů na výrubu. [9]	40
Obrázek č. 10 Možnosti pozice zálomu na výrubu. [9]	41
Obrázek č. 11 Přehledná situace, měřítko 1:4 000	49
Obrázek č. 12 Detail pozice navrhovaného tramvajového tunelu k nejbližší zastavbě	49
Obrázek č. 13 Ulice Preslova, pohled k severozápadu	50
Obrázek č. 14 Ulice Ludvíka Poděště, pohled k severu	51

Obrázek č. 15 Ulice Kalvadova, pohled k jihozápadu.....	51
Obrázek č. 16 Příčný řez projektovaným tramvajovým tunelem s vystrojením. [4].....	52
Obrázek č. 17 Ilustrační podélný řez plánovanou trasou tramvajového tunelu Brno (bez měřítka) [4].....	54
Obrázek č. 18 Rozdělení metod ražení v závislosti na indexu RQD [6]	56
Obrázek č. 19 Detail schéma navržených izoseist pro rychlosti kmitání $10, 5 \text{ mm.s}^{-1}$	58
Obrázek č. 20 Vrtné schéma, metoda návrhu nálože dle Mečíř – Válek.....	61
Obrázek č. 21 Vrtné schéma – detail zálomu, Mečíř – Válek	61
Obrázek č. 22 Vrtné schéma, metoda návrhu nálože dle Mečíř – Válek.....	64
Obrázek č. 23 Vrtné schéma, metoda návrhu nálože dle Olofssona.....	67
Obrázek č. 24 Vrtné schéma – detail zálomu, Olofsson	68
Obrázek č. 25 Vrtné schéma, metoda návrhu nálože dle Olofssona.....	70
Obrázek č. 26 Vrtné schéma, metoda návrhu nálože dle Bhandari a detail Vrtné schéma – detail zálomu, Bhandari	75

Tabulky v textu

Tabulka č. 1 Škodlivé seizmické účinky v závislosti na rychlosti kmitání [1].....	18
Tabulka č. 2 Stupeň poškození objektů [3].....	20
Tabulka č. 3 Závislost stupně poškození na maximální rychlosti kmitání [3]	21
Tabulka č. 4 Určení základní měrné spotřeby trhaviny pro ražení q_r [kg.m^{-3}], [7]	35
Tabulka č. 5 Součinitel struktury čelby a [7].....	35
Tabulka č. 6 Součinitel vlastnosti horniny b [7].....	35
Tabulka č. 7 určení součinitele c a η_v [7].....	36
Tabulka č. 8 Zásady pro navrhování přibírkových a obrysových vrtů [7]	37
Tabulka č. 9 Vztahy mezi čtverci přímého zálomu [9].....	43
Tabulka č. 10 Vztahy k navrhování přibírkových a obrysových vrtů. [9].....	43
Tabulka č. 11 Specifická spotřeba trhaviny v závislosti na průměru vrtů [2]	45
Tabulka č. 12 Vztahy k navrhování přibírkových a obrysových vrtů. [2].....	47
Tabulka č. 13 Měrná spotřeba trhavin závislá na průměru vrtů [2].....	47
Tabulka č. 14 Zastoupení jednotlivých rajonů geotechnických typů [4].....	54
Tabulka č. 15 Základní geotechnické charakteristiky hornin [4]	55

Tabulka č. 16 Zatřídění kvality horniny na základě RQD [4]	55
Tabulka č. 17 Soupis objektů v okolí stavby a jejich zatřídění dle ČSN 73 0040.....	56
Tabulka č. 18 Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle Mečíře – Válka, Kmmitti 810.....	62
Tabulka č. 19 Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Mečíře – Válka, Kmmitti 810	62
Tabulka č. 20 Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle Mečíře – Válka, Perunit E	64
Tabulka č. 21 Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Mečíře – Válka, Perunit E	65
Tabulka č. 22 Souhrn spotřeby trhaviny ve čtvercovém zálomu.....	67
Tabulka č. 23 Souhrn spotřeby trhaviny a délek odporových přímek v obrysových a přibírkových vrtech.....	67
Tabulka č. 24 Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle Olofssona, Kemmitti 810	68
Tabulka č. 25 Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Olofssona, Kemmitti 81069	
Tabulka č. 26 Souhrn spotřeby trhaviny ve čtvercovém zálomu.....	70
Tabulka č. 27 Souhrn spotřeby trhaviny a délek odporových přímek v obrysových a přibírkových vrtech.....	70
Tabulka č. 28 Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle Olofssona, Perunit E	71
Tabulka č. 29 Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Olofssona, Perunit E.....	71
Tabulka č. 30 Souhrn spotřeby trhaviny ve čtvercovém zálomu.....	72
Tabulka č. 31 Souhrn spotřeby trhaviny a délek odporových přímek v obrysových a přibírkových vrtech.....	73
Tabulka č. 32 Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle Bhandari, Kemmitti 810	74
Tabulka č. 33 Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Bhandari, Kemmitti 810.	74
Tabulka č. 34 Souhrn spotřeby trhaviny ve čtvercovém zálomu.....	76
Tabulka č. 35 Souhrn spotřeby trhaviny a délek odporových přímek v obrysových a přibírkových vrtech.....	76

Tabulka č. 36 Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle Bhandari, Perunit E	76
Tabulka č. 37 Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Bhandari, Perunit E	77
Tabulka č. 38 Základní parametry kondenzátorových roznětic [8]	77
Tabulka č. 39 základní parametry elektrické rozbušky [16]	77
Tabulka č. 40 Souhrn základních parametrů trhacích prací	82
Tabulka č. 41 Finanční nacenění prostředků pro trhací práce	83

Grafy v textu

graf č. 1 Závislost teploty můstku na průchodu elektrického proudu [9]	30
graf č. 2 hmotnosti nálože pro různé hrubého výrubu [9]	39
graf č. 3 Měrná délka vrtů pro různé plochy hrubého výrubu [9]	40
graf č. 4 Stanovení koncentrace nálože pro první zálomový čtverec [9]	42
graf č. 5 Závislost koncentrace nálože a odporové přímky v závislosti na vzdálenosti sousedních vrtů v zálohu [9]	42
graf č. 6 Závislost délky odporové úsečky na měrné spotřebě trhaviny [9]	43
graf č. 7 Závislost počtu vrtů na ploše výrubu. [2]	44
graf č. 8 Specifická spotřeba trhavin v závislosti na ploše raženého profilu a průměrů vrtů. [2]	46

Seznam rovnic

(1) Rovnice výpočtu velikosti přetlaku [Pa] [8]	15
(2) Rovnice amplitudy seizmické vlny A_s [μm] [1]	17
(3) Rovnice rychlosti kmitání v_k [cm.s^{-1}] [1]	17
(4) Rovnice Přípustné rychlosti kmitání V_p [mm.s^{-1}] [10]	19
(5) Vzorec pro výpočet reakčního času rozbušky t_r [s] [10]	30
(6) Podmínka minimálního reakčního času rozbušky [s] [10]	30
(7) Rovnice pro výpočet hmotnosti celkové nálože N_c [kg] [7]	34
(8) Rovnice pro výpočet maximální odporové úsečky W_{\max} [m] [7]	34
(9) Rovnice pro výpočet opravného součinitele κ_r [-] [7]	35
(10) Rovnice pro výpočet zabírky H_r [m] [7]	36
(11) Rovnice pro výpočet ukazatele horninové výtrže v sbíhavém zálohu „i“ [-] [7]	37

(12) Rovnice pro výpočet celkové hmotnosti nálože v zálomových vrtech N_z [kg] [7]	37
(13) Rovnice pro výpočet hmotnosti nálože pro obrysové a přibírkové vrty N_o [kg] [7]....	38
(14) Rovnice pro výpočet vzdálenosti vrtů nabitého od nenabitého V [m] [2]	45
(15) Rovnice pro výpočet vzdálenosti vrtu nabitého od dvojice nenabitých vrtů V [m] [2]	45
(16) Rovnice pro výpočet odporové úsečky v zálohu B [m] [2]	45
(17) Rovnice pro výpočet odporové úsečky B [m] [2]	46
(18) Rovnice pro výpočet ekvivalentní hmotnosti nálože m_n [kg] [10]	57
(19) Rovnice pro výpočet odporu hlavního vedení R_{hv} [Ω] [10]	78
(20) Rovnice pro výpočet odporu prodlužovacích vodičů R_v [Ω] [10]	78
(21) Rovnice pro výpočet odporu jedné rozbušky R_1 [Ω] [10]	78
(22) Rovnice pro výpočet odporu rozbušek zapojených do sítě R_s [Ω] [10]	79
(23) Rovnice pro výpočet celkového odporu vedení R_c [Ω] [10]	79
(24) Rovnice pro výpočet celkového zážehového impulsu E_C [J] [10]	79
(25) Výpočet spolehlivosti roznětu Σ [-] [10]	79
(26) Podmínka pro časovou konstantu vybíjení kondenzátoru τ [s] [10]	80
(27) Rovnice pro výpočet celkového odporu vedení serioparalelním zapojení R_c [Ω] [10].	80
(28) Podmínka pro časovou konstantu vybíjení kondenzátoru τ pro serioparalelní zapojení	80
(29) Rovnice pro výpočet Energetického impulsu E [J] [10]	81
(30) Podmínka nerovnosti zážehového impulsu	81